

Desarrollo embriológico y evolución anatomofisiológica del corazón (Primera Parte)

(Embryological development and anatomico-physiological evolution of the heart)
(Part 1)

Manuel Gómez-Gómez,* Cecilia Danglot-Banck,* Honorio Santamaría-Díaz,* Carlos Riera-Kinkel*

RESUMEN

La cardiogénesis principia el día 18 de la vida intrauterina, al formarse la excrescencia cardiogénica del mesodermo precardiaco y termina el día 45 con la formación de la parte membranosa del tabique ventricular. Luego el primordio cardiaco se forma en la placa cardiogénica ubicada en el extremo craneal del embrión. Es entonces cuando las células angiogénicas de configuración semejante a una herradura se funden para formar dos tubos endocárdicos; después debido a pliegue cefálico y lateral ingresan en la región torácica en donde se fusionan formando un solo tubo endocárdico. A partir de este proceso evolutivo, se van conformando las características anatómicas de las cavidades cardíacas y de los vasos que emergen de este órgano. Es así como al final de la octava semana se completa el desarrollo anatómico del corazón fetal y su maduración fisiológica se continúa después del nacimiento.

Palabras clave: Embriogénesis del corazón, desarrollo cardiovascular fetal, seno venoso, aurículas primitivas, ventrículos, *bulbus cordis*.

SUMMARY

The cardiogenesis begins at 18 day of the intra-uterine life, when being formed the excrescence cardiogenic of the precardiic mesoderm and it finishes around 45 day, when start the membranous part of the ventricular septum is in formation. Then the heart primordio is formed in the cardiogenic badge located in the cranial end of the embryo. It is then when the angiogenic cells of configuration is similar to a horseshoe, melt to form two tubes endocardic; then due to cephalic and lateral pleat they enter in the thoracic region where you/ they fuse forming a single tube endocardic. Starting from this evolutionary process, they go conforming to the anatomical characteristics of the heart cavities and of the glasses that emerge of this organ. It is as well as at the end of the eighth week it is completed the anatomical development of the fetal heart and their physiologic maturation you continues after the birth.

Key words: Embryogenesis of the heart, fetal cardiovascular development, venous sinus, primitive atria, ventricles, *bulbus cordis*.

Se considera, en términos de su definición, que la embriología forma parte de la biología del desarrollo: desde la concepción al segundo mes, por lo que comprende las primeras nueve semanas a partir de la concepción.

El conocimiento embriológico permite conocer la etiología (las causas) en tanto que la morfogénesis (pa-

togénesis) permite conocer los mecanismos mediante los cuales hubo un desarrollo anormal en el producto en gestación.

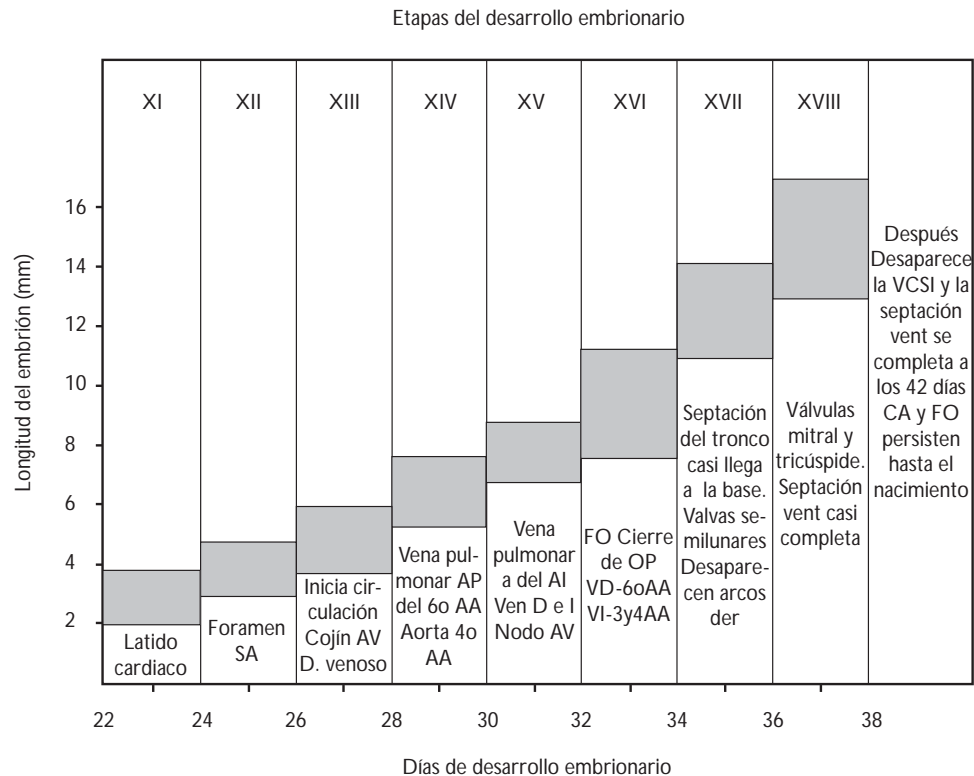
Es así como para entender el origen de las cardiopatías congénitas complejas es necesario conocer en qué momento del desarrollo pudo haber ocurrido la malformación cardíaca, facilitando el diagnóstico clínico de la cardiopatía¹ (Cuadros 1 a 3 y Figura 1).

EMBRIOGÉNESIS NORMAL: TERCERA SEMANA DE LA VIDA

En el desarrollo embrionario cardiovascular los principales los eventos que ocurren en la tercera semana de la

* Instituto Cardio-Infantil de México, S.C., Hospital Infantil Privado, México, D.F.

Cuadro 1. Horizontes (etapas) del desarrollo de «Streeter» en el embrión humano. Los «horizontes» se indican en números romanos en la parte superior. La edad embrionaria en días aparece a bajo. La longitud embrionaria en mm está a la izquierda. Se hacen notar los principales eventos del desarrollo cardiovascular en cada horizonte.



Lista de abreviaturas: SA: senoauricular, AV: auriculoventricular, D: ductus, AP: arteria pulmonar, AA: arco aórtico, AI: aurícula izquierda, Ven: Ventrículo, D: derecho, I: izquierdo, FO: foramen ovale, OP: ostium primum, VCSI: vena cava superior izquierda, CA: conducto arterioso.²














evolución (entre los días 15 a 21), se pueden resumir de la siguiente manera:


1. El mesodermo en los humanos se desarrolla a partir del ectodermo el día 15 de la gestación y es así como a partir del mesodermo se desarrolla el sistema cardiovascular.
2. En cuanto a los orígenes del tubo cardíaco se conforma a partir de grupos de células angiogénicas: las que se encuentran en la placa o excrecencia cardiogénica. La placa cardiogénica que se deriva del mesodermo esplacnopleural, aparece a los 18 días y se ubica tanto de manera craneal como lateral a la placa neural.⁶⁻⁹
3. El celoma intra-embriionario se desarrolla el día 18, a partir de la cavitación del mesodermo, del cual se derivan todas las cavidades corporales: pericárdica, pleural y peritoneal (*Figuras 2 y 3*). La recién formada protuberancia del tubo cardíaco en la cavidad pericárdica (*Figura 2*), se adhiere a la

pared dorsal por un pliegue de tejido: el mesodermo dorsal (*Figura 3*), el que es un derivado del mesodermo esplacnopleural del intestino anterior. Estos grupos de células angiogénicas se aglutinan para generar los tubos endocárdicos derecho e izquierdo y cada tubo continúa su desarrollo hacia el cráneo con una aorta dorsal como tracto de salida y caudalmente con una vena vitelo-umbilical como tracto de entrada; eventualmente éstos se rompen dejando el tubo cardíaco suspendido en la cavidad pericárdica, anclada cranealmente en la aorta dorsal y caudalmente por las venas vitelo-umbilicales.¹²⁻¹⁴

4. La fase de «tubo recto del corazón» (o pretorsión) se desarrolla a partir del vigésimo día (*Figura 4B*) y los latidos cardíacos probablemente comienzan en esta fase o después de ésta, en la etapa temprana de la dextro o levo-torsión (*Figura 4A y 4C*).
5. Formación del «bucle» cardíaco normal a la derecha en su forma dextro, y anormal a la izquierda en su

Cuadro 2. Tabla de las etapas de Carnegie.³

Etapa	Días	Tamaño (mm)	Imágenes	Eventos
7	(Semana 3) 15-17	0.4		Gastrulación, proceso notocordal
8	17-19	1.0-1.5		Esbozo primitivo, canal notocordal
9	19-21	1.5-2.5		Somitas número 1-3, pliegue neural, primordio cardíaco, pliegue de la cabeza
10	(Semana 4) 22-23	2-3.5		Somitas número 4-12, fusión de los pliegues neurales
11	23-26	2.5-4.5		Somitas número 13-20, se cierra neuroporo rostral
12	26-30	3-5		Somitas número 21-29, se cierra neuroporo caudal
13	(Semana 5) 28-32	4-6		Somitas número 30, yemas de piernas, placoda del cristalino, arcos faríngeos
14	31-35	5-7		Fosa del cristalino, copa óptica
15	35-38	7-9		Vesícula óptica, fosa nasal, placa de la mano
16	(Semana 6) 37-42	8-11		Se mueven ventralmente las fosas nasales, montículos auriculares, placa del pie
17	42-44	11-14		Dedos de las manos
18	(Semana 7) 44-48	13-17		Comienza osificación
19	48-51	16-18		Enderezamiento del tronco

20	(Semana 8) 51-53	18-22		Extremidades superiores más largas y dobladas al codo
21	53-54	22-24		Giro hacia adentro de manos y pies
22	54-56	23-28		Párpados, orejas
23	56-60	27-31		Cabeza redondeada, cuerpo y extremidades

Cuadro 3. Principales eventos en el desarrollo cardiovascular.⁵

Semanas	Días	Somititas	Longitud (mm)	Secuencia de eventos
1-2	0-20	1	1.5	No hay corazón ni grandes vasos
3	20	2	1.5	Hay placa cardiogénica
	21	5	1.5	Aparecen los tubos endocárdicos
4	22	10	2.0	Ocurre la fusión de los tubos endocárdicos
	23	12	2.0	Sólo medio tubo cardiaco, primera contracción
	25	17	2.5	Se forma bucle cardiogénico
	26	20	3.0	Aurícula única
5	29	25	4.0	Aurícula bilobulada
	30	26	4.0	Se inicia la circulación
	31	28	4.8	<i>Septum primum</i>
	35		7.5	Orificio AV, corazón de tres cámaras
6	36		8.5	<i>Septum secundum</i>
	39		10.0	Tabique inferior completo
	40		10.5	Formación del <i>septum</i> bulbo-ventrículo
	42		13.0	División del tronco arterial
7	49		20.0	Corazón ya con cuatro cámaras, absorción de venas pulmonares
8	50			El tracto de salida, aorta-tronco pulmonar están ya separados

forma Levo, empieza a los 21 días de edad (*Figura 4A y 4C*).

Durante el plegado lateral y craneal del embrión los tubos se ubican en la cavidad torácica y esto da lugar a ambos se acerquen entre sí, a la vez que se inicia su fusión en dirección caudo-craneal y alrededor del día 21 se fusionan totalmente (*Figuras 5 a 7*).¹²⁻¹⁴

Es así como al protruir en la cavidad se convierte en una capa de miocardio, y una capa de matriz acelular (gelatina cardíaca) separa el miocardio y el tubo cardiaco endo-

telial. Es así como el tubo cardiaco recién formado (*Figura 8*) se divide de abajo hacia arriba en las siguientes regiones:

- Seno venoso: que consiste en los cuernos izquierdo y derecho.
- Aurículas primitivas: las que se fusionan más tarde para formar la aurícula común.
- Surco aurículo-ventricular: que divide la aurícula y el ventrículo primitivo.
- Ventrículo primitivo: que se expande para convertirse en el ventrículo izquierdo.

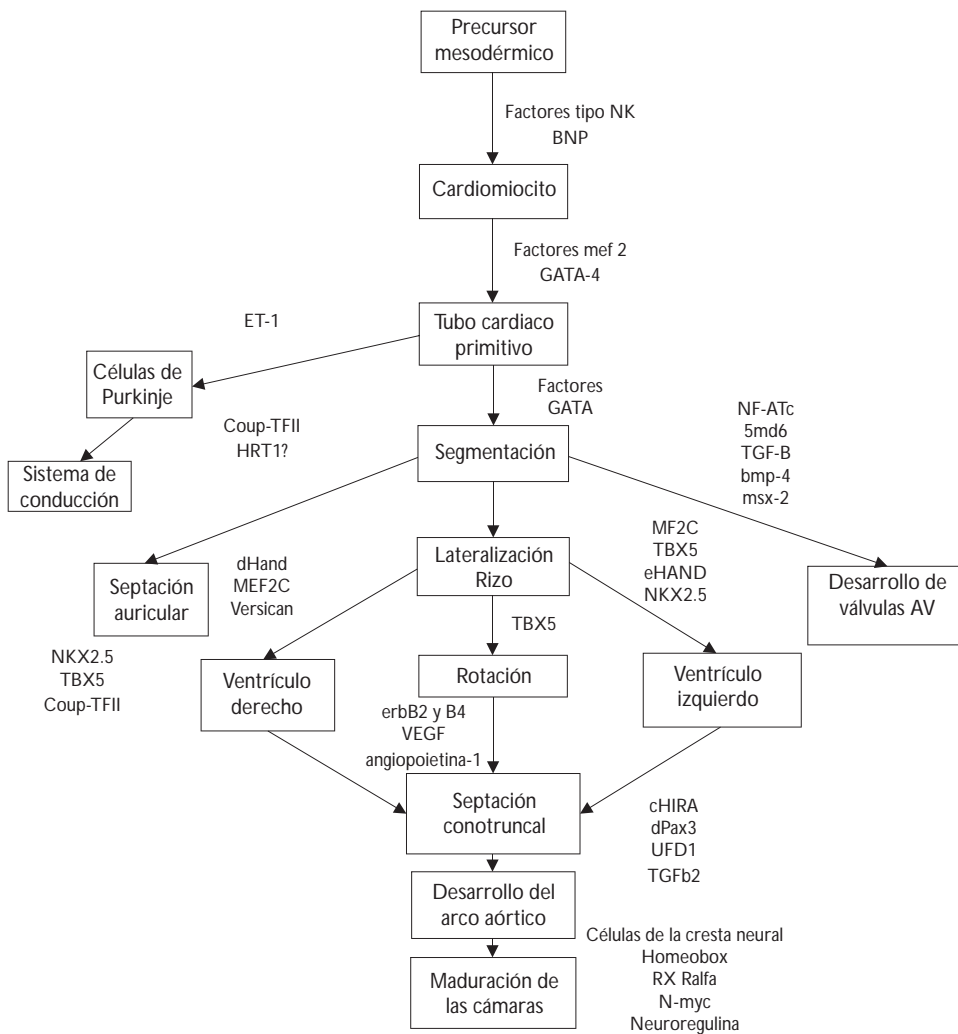


Figura 1. Principales eventos en la morfogénesis cardíaca. La formación de las válvulas, ventrículos, aurículas y del sistema de conducción, es por la interacción con un grupo de proteínas reguladoras que actúan en forma independiente o conjunta. Los factores implicados durante la cardiogénesis, se indican al lado de las flechas.⁴

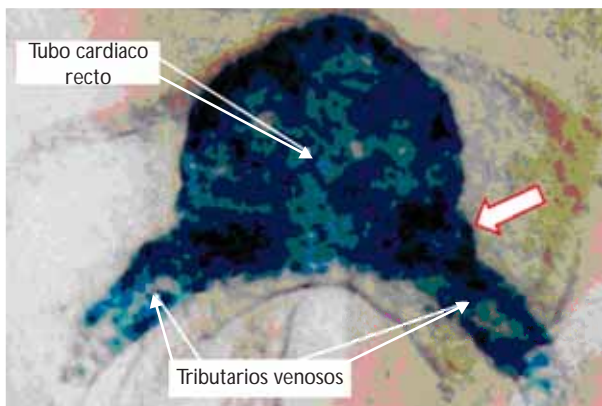


Figura 2. Imagen del tubo del corazón en un embrión de 21 días de desarrollo. Si bien antes se pensaba que las distintas partes del corazón estaban representadas en el tubo lineal, ahora se sabe que da lugar al ventrículo izquierdo definitivo y al tabique ventricular: nótese que ya existe un arreglo asimétrico del tubo, como lo muestra la flecha.¹⁰



Figura 3. La imagen muestra un embrión en estadio Carnegie 10 a los 22 días, con somitas, a través de la parte ventricular del tubo cardíaco. En esta fase el tubo se apoya en el mesocardio dentro de la cavidad pericárdica (ver flechas).¹¹

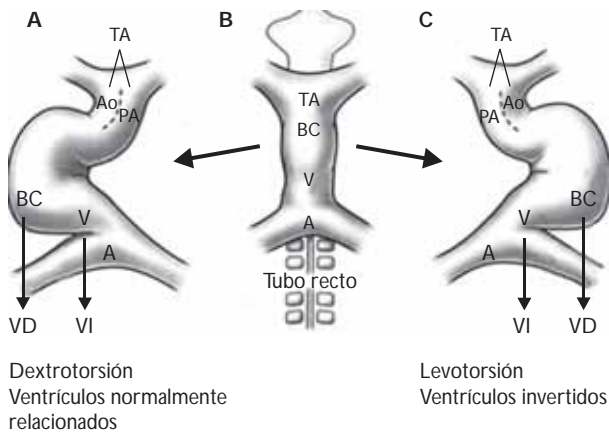
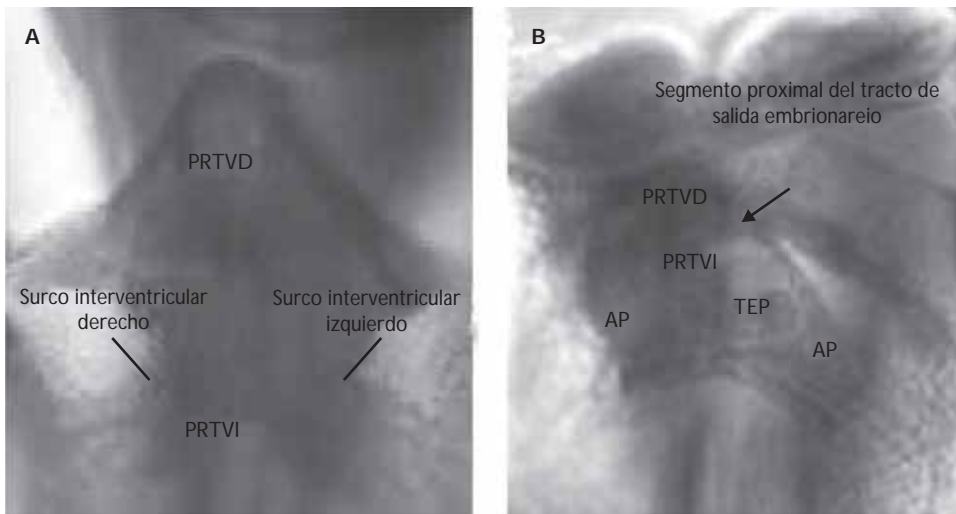


Figura 4. Formación del bucle cardíaco. **A.** Dextro-rotación, con ventrículos en situ solitus (no invertido). **B.** Tubo del corazón recto o en fase de prebucle. **C.** Levo-torsión con inversión de los ventrículos (imagen en espejo).

Lista de abreviaturas. A aurícula, Ao aorta, BC bulbus cordis, PA arteria pulmonar, TA tronco arterial, V ventrículo, VD ventrículo derecho, VI ventrículo izquierdo.



Lista de abreviaturas. AP: Atrios primitivos, PRTVD: Primordio de la región trabeculada del ventrículo anatómicamente derecho, PRTVI: Primordio de la región trabeculada del ventrículo anatómicamente izquierdo, TEP: Tracto de entrada primitivo.

Figura 5. **A.** Tubo cardíaco recto, vista frontal. Note que sólo están presentes dos primordios. **B.** Asa en C en vista frontal. Ya existen cinco primordios. La flecha indica el surco profundo de la curvatura menor del asa que separa las regiones trabeculadas de los ventrículos.

- Surco interventricular: que divide el ventrículo primitivo y el *bulbus cordis*.
- *Bulbus cordis*: que a su vez puede dividirse en:
 - *Bulbus cordis*, que es la parte proximal que forma el ventrículo derecho.
 - *Conus cordis*.
 - Tronco arterial.
 - Saco aórtico (Figura 8) (Cuadro 4).

CUARTA SEMANA DE VIDA

El desarrollo cardiovascular entre los días 22 a 28^o se caracteriza por:

1. Haber concluido la formación del bucle cardíaco con torsión a la derecha (horizonte XI).
2. Comenzar el desarrollo morfológico del ventrículo izquierdo y derecho (horizonte XIII).
3. Inicio de la circulación.

4. He iniciar el desarrollo del septo cardiovascular.
5. Principiar el desarrollo de los arcos aórticos (Figura 9).

PARTICIÓN AURICULAR

Cuando el tubo cardíaco forma el asa bulbo-ventricular, se fusionan las dos aurículas primitivas formando una sola y se ubica en sentido craneal hacia el ventrículo primitivo y dorsal: en el *bulbus cordis*. Por otra parte el tronco arterial se sitúa en el techo de la aurícula común, dando lugar a una depresión donde se va a producir la *septación auricular*.

La partición de la aurícula con la aparición del *septum primum* en el día 28, se origina una cresta de tejido que crece a partir de la pared dorsal de la aurícula, hacia los cojinetes endocárdicos: formando el *ostium primum* (apertura) por el borde libre del *septum primum*.

Antes de que el *septum primum* se fusione con los cojinetes endocárdicos, aparecen perforaciones en la parte

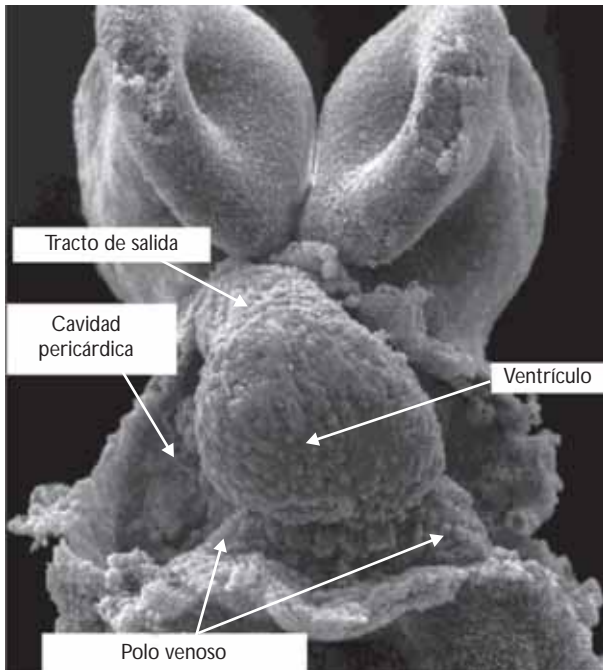


Figura 6. Microfotografía electrónica por escaneo a los 22 días con estadio Carnegie 10 con 11 somitas, vista frontal del tubo cardíaco recto. Note que el tubo está compuesto primariamente por el ventrículo en desarrollo, que se convertirá en el ventrículo izquierdo definitivo. No hay componente auricular y el tracto de salida es también rudimentario.¹²



Figura 7. Corazón primitivo que comprende gran parte del cuerpo del embrión y que inicia su latido a los 22 días.¹¹

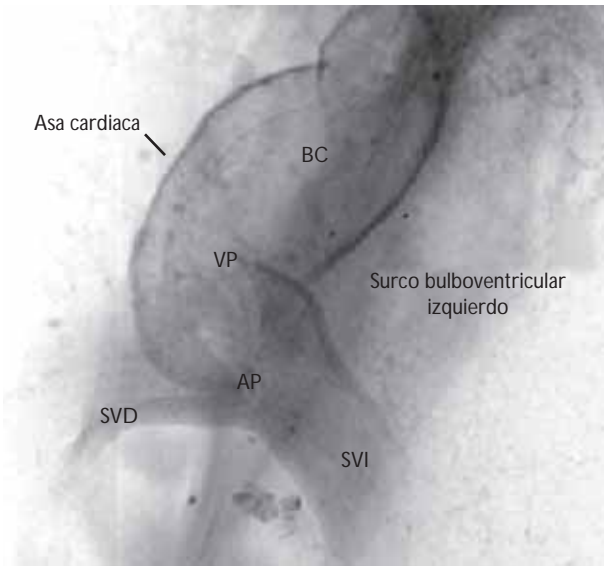


Figura 8. Microscopio de luz (10x) de embrión mostrando el asa cardíaca a los 22 días del desarrollo, que muestra el plano frontal y los que serán ventrículos: BC bulbus cordis, VP ventrículo primitivo, AP aurícula primitiva, SVD seno venoso derecho, SVI seno venoso izquierdo.¹³

Cuadro 4. Desarrollo cardiovascular a la tercera semana.

Días	Longitud	Evento
16-17	Presomita	Grupos de células cardiogénicas se colocan en la placa cardiogénica
18-20	Presomita	Se forman los dos tubos endocárdicos y se empiezan a acercar entre ellos
21-22	1.8 mm 2 somitas	Los dos tubos endocárdicos se fusionan para formar un tubo cardíaco único. El tubo cardíaco entra a la región torácica por flexión cefálica y lateral

alta de éste; estas perforaciones se unen para formar el *ostium secundum* y a diferencia del *septum primum*, el *septum secundum* no se fusiona con los cojinetes endocárdicos. Es así como su borde libre constituye el *foramen oval*. La válvula venosa izquierda y el *septum spurium*, situado en la pared dorsal de la aurícula derecha, se fusionan con el *septum secundum* a medida en que crece el embrión^{12,13} (Figura 10) (Cuadro 5).

QUINTA SEMANA DE LA VIDA

En esta etapa (entre los 29 y 35 días) el desarrollo cardiovascular puede resumirse de la siguiente manera:

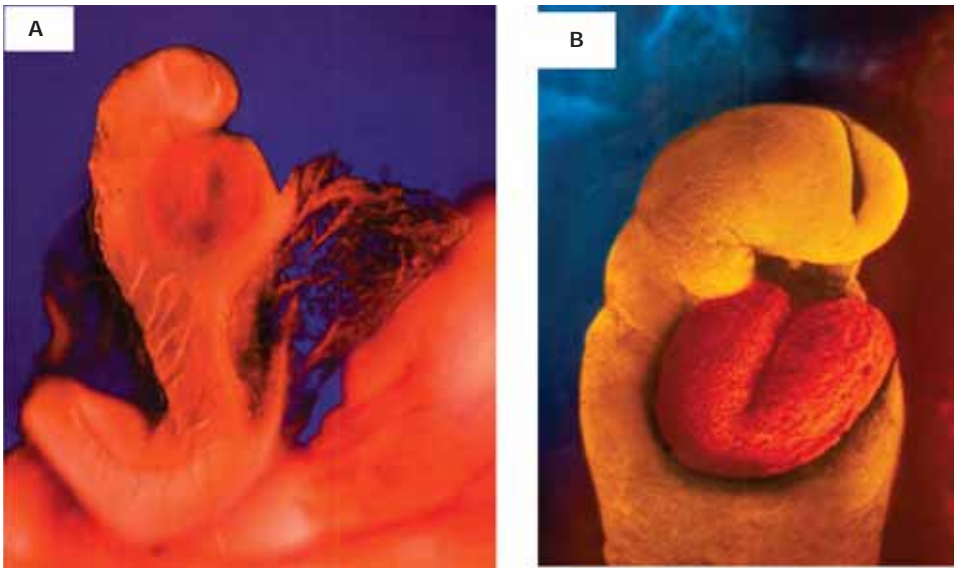


Figura 9. A. A los 24 días el embrión mide 4 mm y está implantado firmemente en la pared del útero. Su forma recuerda a un caballito de mar y el pequeño corazón se extiende casi hasta la cabeza B. Aspecto del corazón de un embrión de 24 días, cuando ya late rápido y de manera rítmica.¹¹

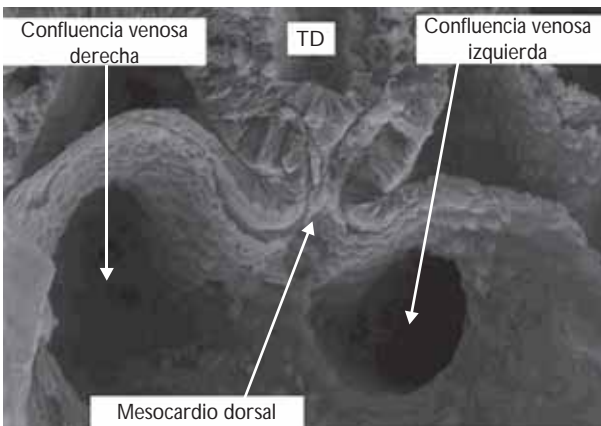


Figura 10. Microscopía electrónica por escaneo del componente auricular del corazón en un embrión de cuatro semanas. Se puede ver cómo el tubo del corazón permanece conectado al mesénquima faríngeo a través del mesocardio dorsal, se puede ver además que no hay límites entre el componente auricular y los afluentes venosos sistémicos en esta etapa; sin embargo, la confluencia de los afluentes de la cara izquierda es menor que la confluencia del lado derecho del TD intestino.

Cuadro 5. Desarrollo cardiovascular en la semana cuatro.

Día	Longitud	Evento
22	2 mm 4 somitas	Los dos tubos endocárdicos se han fusionado por completo, formando el tubo cardíaco único. El corazón inicia su latido y el mesodermo esplancno-pleural cubre el tubo cardíaco formando la cavidad pericárdica
23	2.2-2.5 mm 7/8 somitas	El tubo cardíaco crece rápidamente, obligando a envolverse a sí mismo
24	14 somitas	La unión seno-auricular localizada al centro, se desvía a la derecha y aparecen perforaciones en el mesocardio dorsal
25-28	3.2-5 mm	Se forma el asa bulbo-ventricular y aparece el <i>septum primum</i>
28	5 mm 16 somitas	El <i>septum</i> ventricular aparece como un pequeño borde en el piso del ventrículo común. El ventrículo empieza a dilatarse. Una arteria pulmonar única crece de la pared dorsal externa de la aurícula izquierda y emergen los cojinetes endocárdicos

1. Los ventrículos izquierdo y derecho y el tabique ventricular, continúan su crecimiento y desarrollo.
2. Existe una aproximación de la aorta al foramen interventricular, la válvula mitral y el ventrículo izquierdo.
3. Ocurre la separación de la aorta ascendente y arteria pulmonar principal (horizonte XVIa, días 32-33).
4. Se logra ya la separación de las válvulas mitral y tricúspide (horizonte XVII, 34-36 días).
5. Se amplía el ventrículo derecho.

6. Se asocia con la ampliación ventricular derecha que el tabique ventricular muscular se mueva de derecha a izquierda, debajo del canal AV.
7. La válvula tricúspide se abre en el ventrículo derecho (horizonte XVII).

Cuadro 6. Detalle del desarrollo cardiovascular a la quinta semana.

Día	Longitud (mm)	Evento
29	6-7	Aparece el brote troncal
30/31		Surgen perforaciones en el <i>septum primum</i>
32/33	9	El reborde bulbo-ventricular inicia su receso. El canal AV semeja a un de «hueso de perro». El <i>ostium secundum</i> se forma por el borde libre del <i>septum primum</i> . La unión seno-auricular se mueve completamente a la derecha

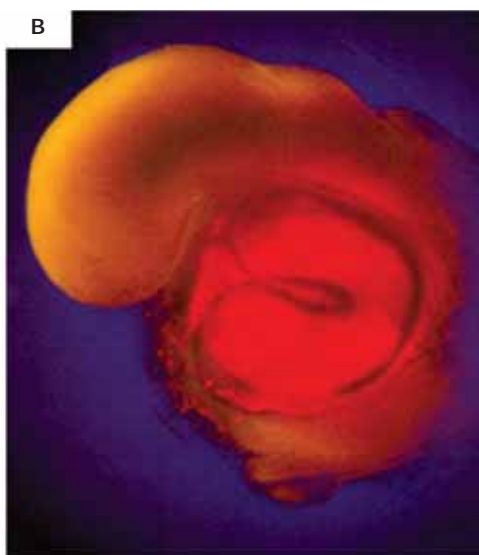


Figura 11. A. Embrión a las cinco semanas en donde el pequeño cuerpo es bastante transparente. Se distingue la cabeza y la cola, el corazón, la columna vertebral y los brotes de las manos. B. Otra vista de un embrión a los 35 días en donde se aprecia el gran tamaño del corazón.¹¹

- El ostium primum está cerrado por el tejido de los cojines endocárdicos del canal AV, con lo que se separan las aurículas.
- El ápex ventricular rota horizontalmente a la izquierda.
- Desde los días 30 a 36, la válvula pulmonar se mueve desde la parte posterior y a la izquierda de la válvula aórtica en desarrollo (30-32 días, horizonte XV) a una posición al lado y a la izquierda de la válvula aórtica (días 32-33, horizonte XVIa), después se ubica algo anterior y a la izquierda de la válvula aórtica (días 33-34, horizonte XVIb) para finalmente situarse en su posición normal anterior y a la izquierda de la válvula aórtica (días 34-36, horizonte XVII). Así como en la quinta semana, con la circulación primitiva única, que es suficiente para que respiren los peces, se convierte en las circulación definitiva y doble en paralelo, la que caracteriza también a la de los mamíferos. Aunque la separación cardiovascular está casi concluida aún es patente el *foramen interventricular*⁵ (Cuadro 6).

Al final de la quinta semana, están presentes los arcos aórticos 3, 4 y 6, el conducto arterioso y la aorta dorsal están intactas; sin embargo las células de la cresta neural siguen contribuyendo al desarrollo del infundíbulo, las grandes arterias y sus ramas⁵ (Figura 11).

Referencias

- Langman J. *Medical embryology*. 2ª ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1969.
- Streeter GL. Developmental horizons in human embryos. Age groups XI to XXIII. In: *Embryology reprint*. Washington, DC: Carnegie Institute; 1951: II.
- Mall FP Report upon the collection of human embryos at the Johns Hopkins University. *The Anatomical Record*; 1911; 5: 343-57.
- <http://pediatriccardiology.uchicago.edu/index.htm.embriology>. accesada: 21 08 2012.
- Van Praagh R. Embriology. In: Keane, editor. *Nadas pediatric cardiology*. 2ª ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 2006.
- Arteaga-Martínez M, Gallegos-Serrano SP. *Desarrollo del corazón*. México: Departamento de Embriología, UNAM; 2010.
- Moorman A, Webb S, Brown NA, Lamers W, Anderson RH. Development of the Heart: 1) formation of the cardiac chambers and arterial trunks. *Heart* 2003; 89: 806-14.

8. Anderson RH, Webb S, Brown NA, Lamers W, Moorman A. Development of the Heart: 2) Septation of the atriums and ventricles. *Heart* 2003; 89: 949-58.
9. Anderson RH, Webb S, Brown NA, Lamers W, Moorman A. Development of the Heart: 3) Formation of the ventricular outflow tract, arterial valves, and intrapericardial arterial trunks. *Heart* 2003; 89: 1110-8.
10. Salazar-García M, Sánchez-Gómez C, Contreras-Ramos A, Carrillo-Ávalos BA, Revilla-Monsalve MC, Palomino-Garibay MA. Los segmentos cardíacos primitivos, su implicación en la cardiogénesis normal aplicada a la cardiología pediátrica. *Arch Cardiol Mex* 2006; 76(Supl 4): S46-57.
11. Nilsson L, Hamberger L. *Nacer: La gran aventura*. Barcelona: Salvat Editores; 2006.
12. Ernst LM. Heart and blood vessels. En: Ernst LM, Ruchelli ED, Huff DS, editors. *Color atlas of fetal and neonatal histology*. New York: Springer; 2011: 3-18.
13. García-Cavazos R, Gómez-Saviñón VG. Embriogénesis cardiovascular. En: Ruesga-Zamora EA, Saturno-Chiu G, editores. *Cardiología*. 2a ed. México: Manual Moderno; 2011: 55-60.
14. Baldwin HS, Dees E. Embriology and physiology of the cardiovascular system. En: Gleason CA, Devaskar SV, editors. *Avery's diseases of the newborn*. 9th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2012.

Correspondencia:
Dr. Manuel Gómez Gómez,
Parque Zoquiapan Núm. 25,
Col. del Parque, 53398,
Naucalpan, Estado de México.
Tel. 55 76 56 06
E-mail: mangomez@prodigy.net.mx