



# Universidad del Sureste

**Catedrático:** Dr. Natanael Ezri Prado Hernández

**Materia:** Biología del desarrollo

**Trabajo:** Resumen del Aparato cardiovascular

**Nombre de la alumna:** Luz Angeles Jiménez Chamec

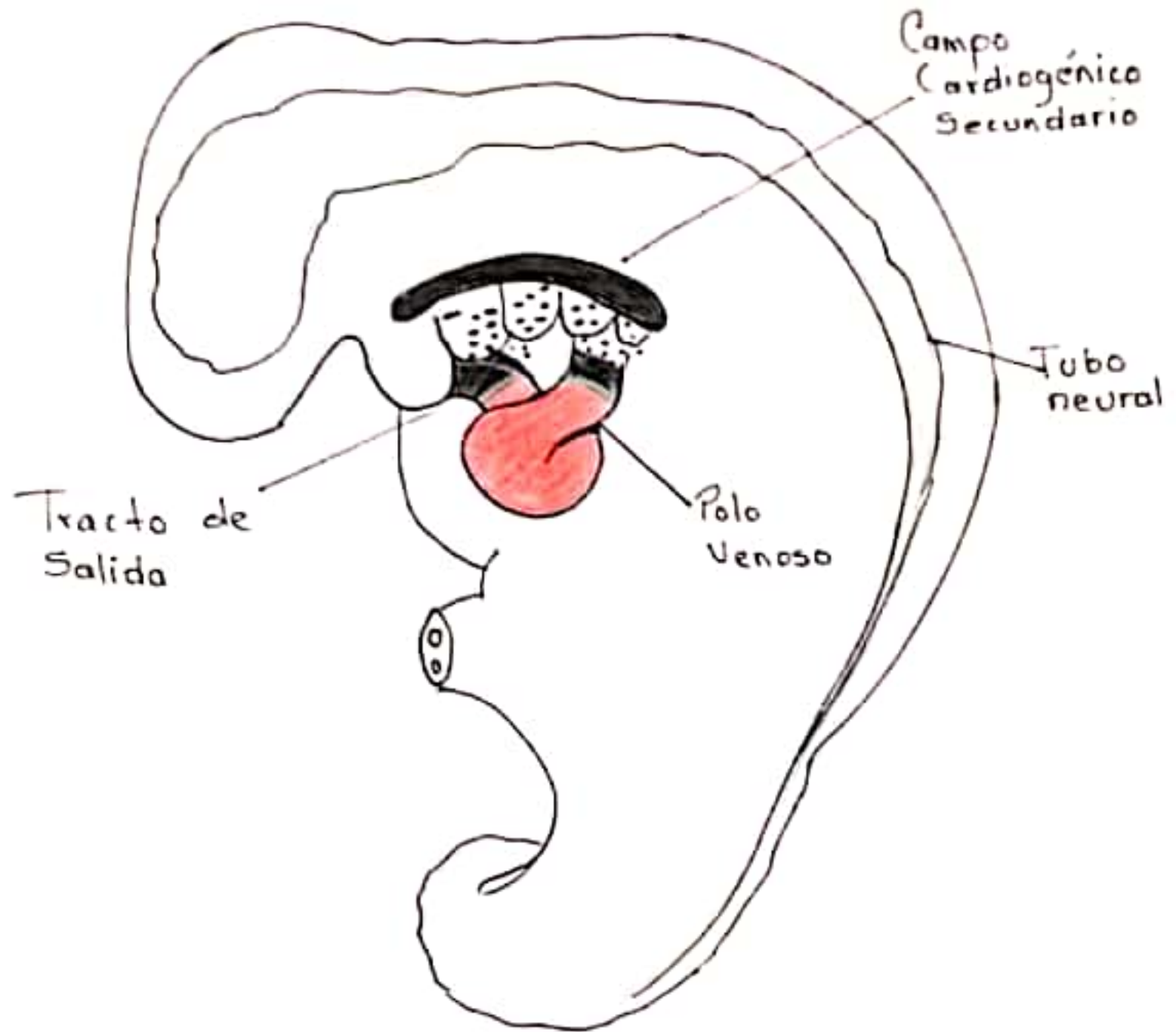
**Licenciatura:** Medicina humana

**Semestre:** 1° B

# Sistema Cardiovascular

## Establecimientos y definición de patrones del Campo Cardíaco primario

El sistema Cardiovascular aparece a la mitad de la tercera semana, cuando el embrión ya no puede satisfacer sus requerimientos nutricionales solo mediante difusión. Las **Células Cardíacas progenitoras** se ubican en el epiblasto, justo adyacentes al extremo craneal de la línea primitiva. Desde ahí migran por la línea y hacia el interior de la capa visceral del mesodermo de la placa lateral, donde forman un grupo celular con forma de herradura que se denomina **Campo Cardíaco primario (CCP)** en un punto craneal a los pliegues neurales. Estas células forman ciertas regiones de las aurículas y todo el ventrículo izquierdo. El ventrículo derecho y el tracto de salida (cono arterial y tronco arterial) derivan del **Campo Cardíaco secundario (CCS)** que también aporta células para la integración de las aurículas y el extremo caudal del corazón. Con el paso del tiempo los islotes se unen y constituyen un tubo en **forma de herradura** revestido por endotelio y rodeado por mesoblastos. Esta región se conoce como **región Cardíaca** el celoma intraembrionario (cavidad corporal primitiva) que se ubica sobre la misma se convierte luego en la **Cavidad pericardíaca**. Además de la región Cardíaca, aparecen a ambos lados otros islotes sanguíneos,



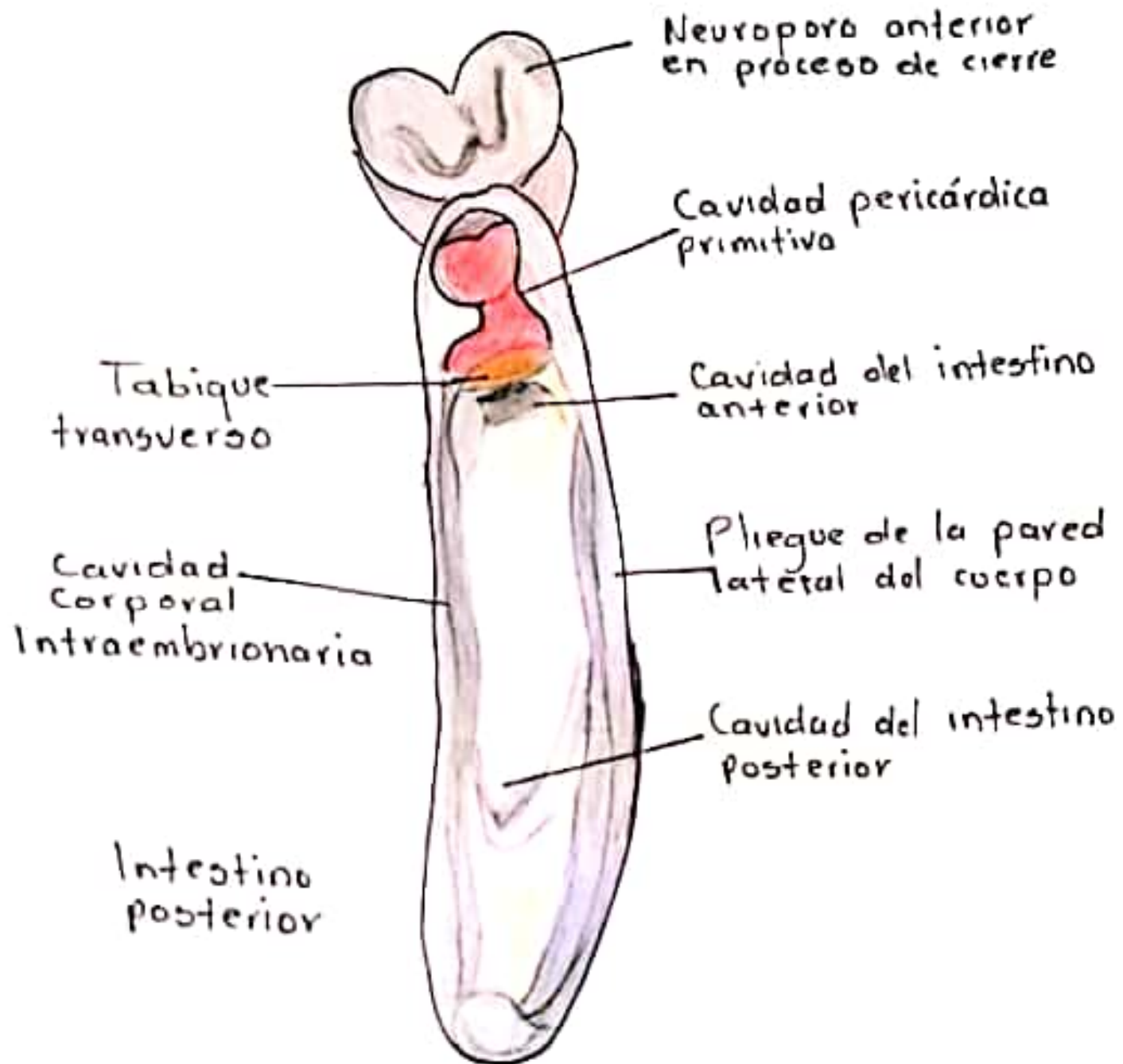


paralelos y cercanos a la línea media del embrión. Estos islotes generan un par de vasos longitudinales, las **aortas dorsales**.

## Formación y posición del tubo cardíaco

Al inicio la porción central de la región cardiogénica se ubica en una región anterior a la **membrana orofaríngea** y a la placa neural. Sin embargo, con el cierre del tubo neural y la formación de las vesículas cerebrales el sistema nervioso central crece en dirección craneal con tanta rapidez que se extiende sobre la región cardiogénica central y la futura cavidad pericárdica. Como consecuencia del crecimiento del cerebro y el plegamiento cefálico del embrión, la membrana orofaríngea sufre tracción en dirección ventral, mientras que el corazón y la cavidad pericárdica se localizan primero a nivel cervical y por último a nivel torácico. El tubo cardíaco en desarrollo se abulta cada vez más en dirección de la cavidad pericárdica por medio de un pliegue de tejido mesodérmico, el **mesocardio dorsal**, que deriva del CCS. En ningún momento existe mesocardio ventral. Al continuar el desarrollo, la región media del mesocardio dorsal se degenera y da origen al **seno pericárdico transverso**, que conecta ambos lados de la cavidad pericárdica. El corazón queda entonces suspendido en esa cavidad por medio de los vasos sanguíneos en sus extremos craneal y caudal.





Mientras estos eventos ocurren, el miocardio se engrosa y secreta una capa de matriz extracelular rica en ácido hialurónico denominada **gelatina cardíaca** que lo separa del endotelio. Además, la formación del **organo proepi cardíaco** ocurre en células mesenquimatosas ubicadas en el borde caudal del mesocardio dorsal. Las células de esta estructura proliferan y migran sobre la superficie del miocardio para constituir la capa epicárdica (**epi cardíaco**) del corazón. Así, el tubo cardíaco queda constituido por tres capas: (1) el **endocardio**, que forma el revestimiento endotelial interno del corazón; (2) el **miocardio**, que constituye la pared muscular; y (3) el **epicardio** o **pericardio visceral**, que cubre el exterior del tubo. Esta capa externa es responsable de la formación de las arterias coronarias, tanto de su capa endotelial como de la capa del músculo liso.

### Formación del asa cardíaca:

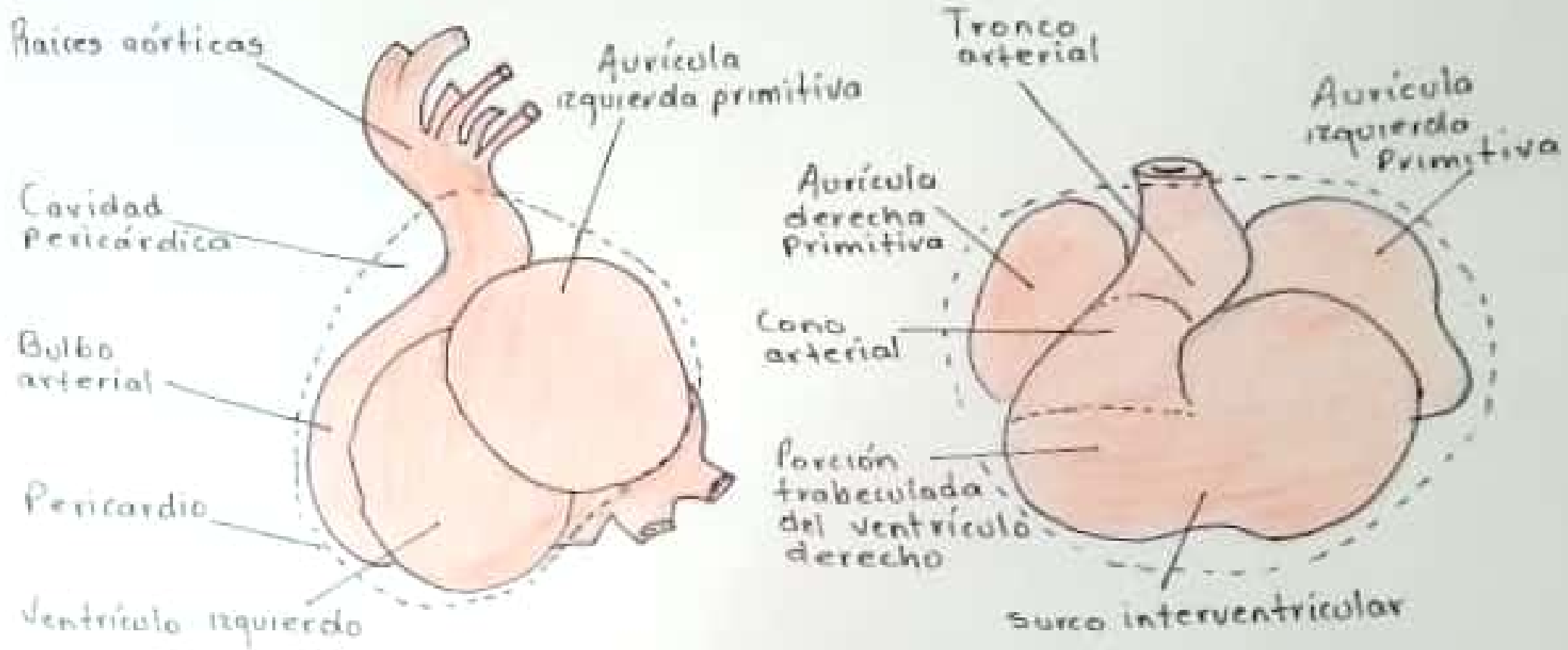
El tubo cardíaco sigue aumentando de tamaño al tiempo que se agregan células del CCS en su extremo craneal. Este proceso de crecimiento resulta esencial para la integración normal del ventrículo derecho y la región del tracto de salida (cono y tronco arterial, que forman parte de la aorta y de la arteria pulmonar), y para el proceso de plegamiento. Si se inhibe el crecimiento del tubo cardíaco, se desarrolla una serie de defectos del tracto de salida,



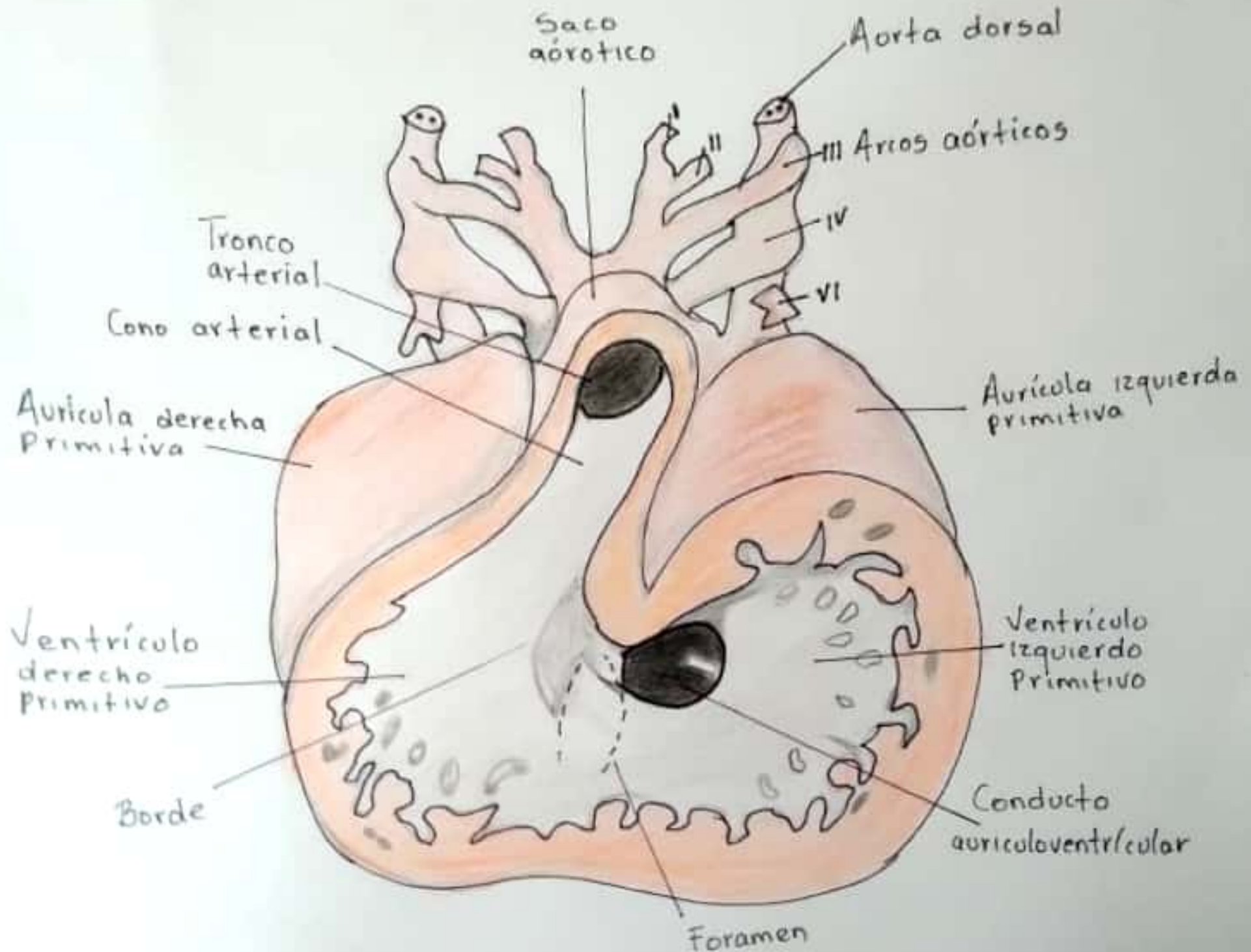
entre ellos DAVD (Cambas arterias, aorta y pulmonar emergen del ventriculo derecho), CIV (comunicación interventricular), tetralogía de Fallot, atresia pulmonar y estenosis pulmonar.

La **porción auricular**, al inicio una estructura par situada fuera de la cavidad pericárdica, constituye una aurícula común y posteriormente se incorpora a la cavidad pericárdica. La **unión auriculoventricular** no se expande y da origen al **conducto auriculoventricular**, que conecta a la aurícula común con el ventriculo embrionario temprano. El **bulbo arterial** es estrecho, excepto en su tercio proximal. Esta región dará origen a la **porción trabeculada del ventriculo derecho**. La región media, el **cono arterial**, constituirá los tractos de salida de los dos ventriculos. La porción distal del bulbo, el **tronco arterial**, formará las raíces y los segmentos proximales de la aorta y la arteria pulmonar. La unión entre el ventriculo y el bulbo arterial, indicada externamente por el **surco bulboventricular** permanece estrecha. Se le denomina **foramen (agujero) interventricular primario**. Así el tubo cardiaco se organiza por regiones siguiendo su eje craneo-caudal en el orden siguiente: región troncoconal, ventriculo derecho, ventriculo izquierdo y región auricular. Cuando el **plegamiento** se completa el tubo cardiaco de pared lisa comienza a desarrollar trabéculas primitivas en dos zonas bien delimitadas, justo en posición proximal y trabéculas primitivas

Norma





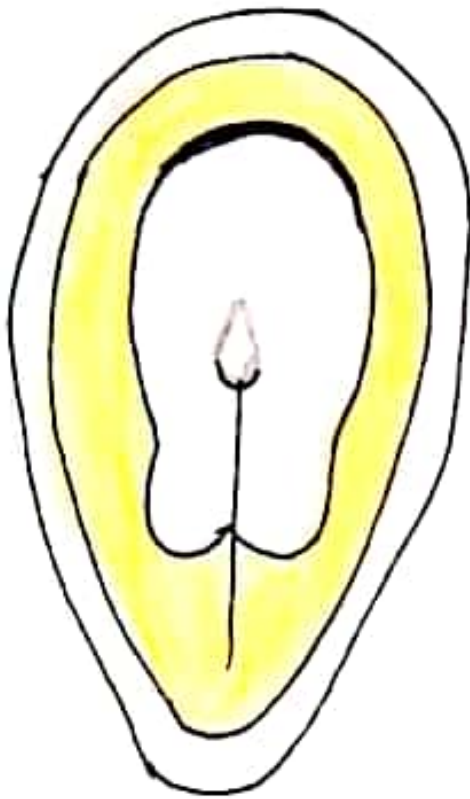




en dos zonas bien delimitadas, justo en posición proximal y distal al foramen interventricular primario. El bulbo conserva sus paredes lisas durante algún tiempo. El ventrículo primitivo, que cuenta ahora con trabéculas, se denomina **Ventrículo izquierdo primitivo**. De igual modo, el tercio proximal trabeculado del bulbo cardíaco se nombra **Ventrículo derecho primitivo**.

**Regulación molecular del desarrollo cardíaco**  
Las señales del endodermo anterior (cranial) dan origen a una región formadora del corazón en el mesodermo visceral suprayacente mediante la inducción de la síntesis del factor de transcripción **NKX2.5**. Para la emisión de señales se requiere la secreción de las **proteínas morfogénicas óseas (BMP)** de los tipos 2 y 4, que son secretadores por el endodermo y el mesodermo de la placa lateral. De manera concomitante, la actividad de las **proteínas WNT** (3a y 8), que secreta el neural, debe bloquearse ya que por lo normal inhiben el desarrollo cardíaco. La expresión de las BMP también genera regulación positiva del factor de crecimiento de fibroblastos 8 (**FGF8**), que es importante para la expresión de las proteínas específicas del corazón. Una vez que se forma el tubo cardíaco, la porción venosa es determinada por el **ácido retinoico (AR)** sintetizado por el mesodermo adyacente a las estructuras que se convertirán en el seno venoso y las aurículas.

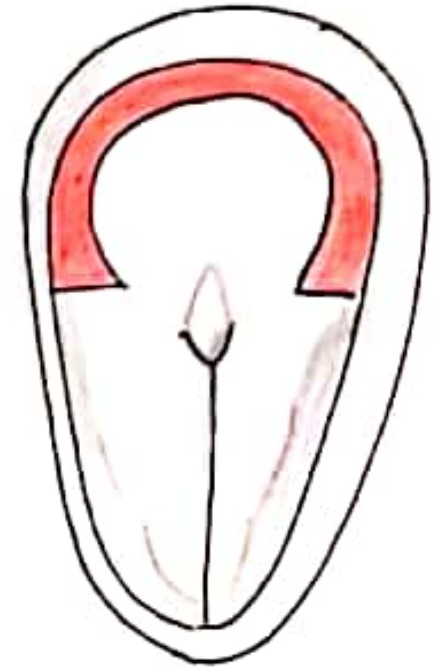




■ BMP 2,4



■ inhibidores de WNT  
(crescent)



■ NKX2.5

El gen **NKX2.5** tiene un homeodominio y es un homólogo del gen **tinman** que regula el desarrollo cardíaco en *Drosophila*. El **TBX5** es otro factor de transcripción que contiene un motivo de unión al DNA conocido como caja -T.

La formación del asa cardíaca depende de distintos factores, entre ellos la vía de la lateralidad y la expresión del gen del factor de transcripción **PITX2** en el mesodermo de la placa lateral en el lado izquierdo. El **PITX2** puede participar en el depósito y la función de moléculas de la matriz extracelular que facilitan la formación del asa. Además, el gen **NKX2.5** permite la regulación positiva de los genes de los factores de transcripción **HAND1** y **HAND2**, que se expresan en el tubo cardíaco primitivo y más tarde quedan restringidos a los futuros ventrículos izquierdo y derecho respectivamente.

### Desarrollo del seno venoso

A la mitad de la cuarta semana el **seno venoso** recibe la sangre venosa proveniente de las **astas de los senos derecho e izquierdo**. Cada asta recibe sangre de tres venas importantes: (1) la **Vena vitelina u onfalomesentérica**, (2) la **Vena umbilical** y (3) la **Vena cardinal común**. Cuando a las 10 semanas se oblitera la Vena cardinal común izquierda lo único que queda del asta del seno izquierdo es la **Vena oblicua de la aurícula izquierda** y el **seno coronario**. El asta derecha, que ahora constituye la única



comunicación entre el seno venoso original y la aurícula, se incorpora a la aurícula derecha para dar origen a la porción lisa de la pared de esa cavidad. Su sitio de entrada, el **orificio sinoauricular**, se encuentra flanqueado por un pliegue valvular, las **válvulas venosas derecha e izquierda**. En su región dorsocraneal, las válvulas se fusionan y conforman una cresta conocida como **septo espurio**.

### Formación de los tabiques cardiacos

Los tabiques principales del corazón se forman entre los días 27 y 37 del desarrollo, cuando la longitud del embrión aumenta de 5 mm a 16 y 17 mm aproximadamente. La formación de este tipo de masas tisulares, denominadas **almohadillas o cojinetes endocárdicos**, depende de la síntesis y el depósito de matriz extracelular, así como de la migración y la proliferación de las células. Estas prominencias endocárdicas se desarrollan en las regiones **auriculoventricular** y **truncoconal**, y en estos sitios facilitan la formación de los **tabiques auricular y ventricular (porción membranosa)**, los **conductos** y las **válvulas auriculoventriculares (porción)** y los **conductos aórtico y pulmonar**. Debido a su ubicación estratégica, las anomalías de la formación de las almohadillas endocárdicas pueden inducir malformaciones cardiacas, entre ellas comunicación interauricular e interventricular (CIA y CIV).



## Formación del tabique en la aurícula común

Al final de la cuarta semana una cresta en forma de media luna crece desde el techo de la aurícula común hacia su cavidad. El orificio que persiste entre el borde inferior del septum primum y las almohadillas endocárdicas es el **ostium primum**. Sin embargo, antes de que termine el cierre, un proceso de **muerte celular programada (apoptosis)** produce perforaciones en la región superior del septum primum. La coalescencia de estas zonas da origen al **ostium secundum**, lo que asegura de la sangre de la aurícula primitiva derecha a la izquierda. La abertura que deja el septum secundum se denomina **foramen oval (agujero oval)**. Cuando la porción superior del septum primum desaparece de manera gradual, la porción remanente se convierte en la **válvula del foramen oval**.

## Formación de la aurícula izquierda y la vena pulmonar

Mientras la aurícula primitiva derecha crece gracias a la incorporación del asta del seno derecho, la aurícula izquierda primitiva también se encuentra en expansión. En ese momento, al tiempo que el septum crece hacia abajo desde el techo de la aurícula común, este mesenquima en proliferación constituye la **protuberancia mesenquimatosa dorsal (PMD)** y este tejido que crece con el septum primum hacia el conducto aurículoventricular. Contendida dentro de la PMD se encuentra la **vena pulmonar** en desarrollo.

Norma



que queda ubicada en la aurícula izquierda por el crecimiento y el desplazamiento de la PMD. En el corazón completamente desarrollado la aurícula derecha embrionaria original se convierte en el **apéndice auricular trabeculado derecho** que cuenta con músculos pectíneos, en tanto el **Sinus Venosus** se forma a partir del asta derecha del seno venoso.

### Formación del tabique en el conducto auriculoventricular.

Al final de la cuarta semana aparecen cuatro **almohadillas endocárdicas auriculoventriculares**: una en cada lado, otra más en el borde dorsal (superior) del conducto auriculoventricular y una en su borde ventral (inferior). Al principio el conducto auriculoventricular permite solo el acceso al ventrículo izquierdo primitivo y está separado del bulbo arterial por el **borde bulboventricular (cono)**. Además de las almohadillas endocárdicas dorsal y ventral, aparecen dos **almohadillas auriculoventriculares laterales** en los bordes derecho e izquierdo del conducto.

### Válvulas auriculoventriculares

Las válvulas quedan entonces conformadas por tejido conectivo cubierto por endocardio. Están conectadas a trabéculas musculares gruesas en la pared del ventrículo, los **músculos papilares**, por medio de **cuerdas tendinosas**. De este modo, se forman dos válvulas que integran



la **válvula bicúspide** (o **mitral**) en el conducto aurículoventricular izquierdo, y otras tres que originan la **válvula tricúspide**, en el lado derecho.

### Formación del tabique del tronco arterial y el cono arterial

Durante la quinta semana de vida, en el tronco aparecen pares de rebordes, uno frente a otro en paredes opuestas. Estos rebordes, llamados **Crestas del tronco arterial**, se ubican en la región superior derecha de la pared (**cresta superior derecha del tronco arterial**). Tras su fusión completa, las crestas dan origen al **tabique aortopulmonar**, lo que da lugar a la posición de la **aorta** y la **pulmonar**. Las **celulas de la Cresta neural cardíaca**, cuyo origen son los bordes de los pliegues neurales en la región del rombencefalo, migran por los arcos faríngeos 3, 4 y 6 hasta la región del flujo de salida del corazón, misma que invaden.

### Formación del tabique en los ventrículos

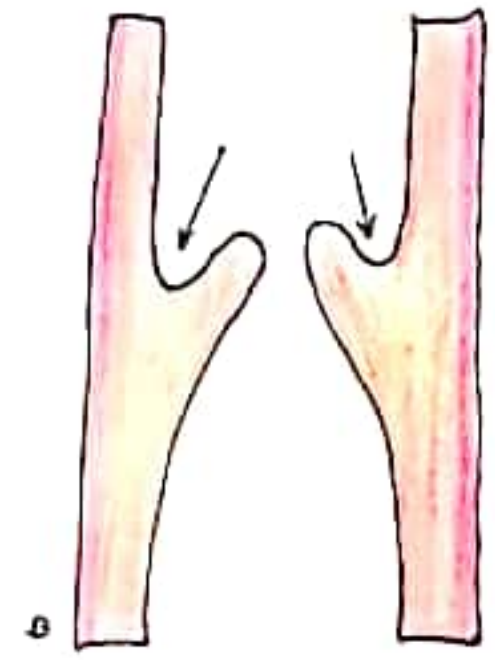
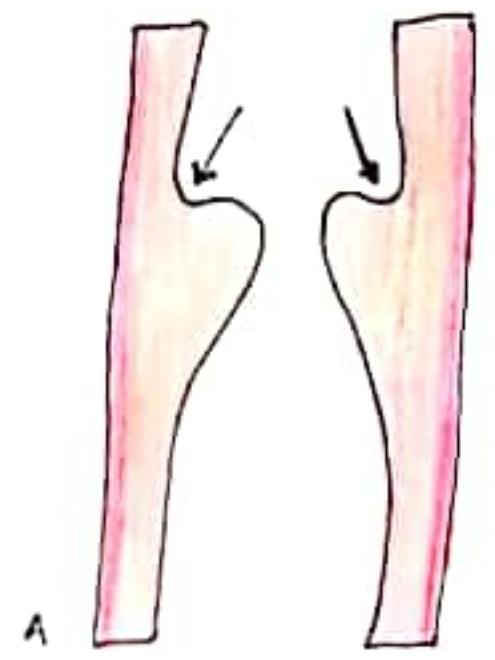
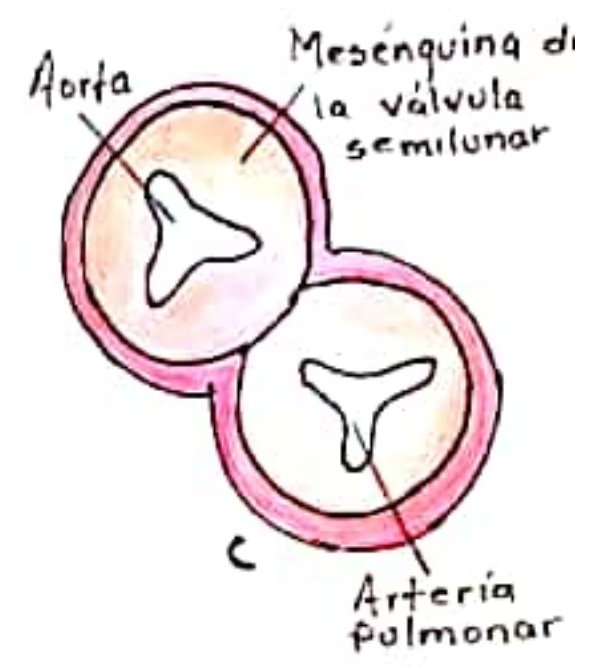
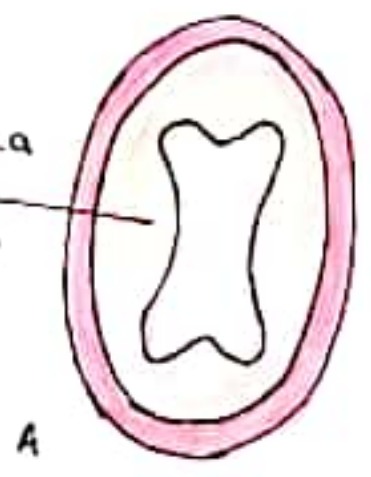
Para el final de la cuarta semana los dos ventrículos primitivos empiezan a expandirse. Las paredes mediales de los ventrículos en expansión se adosan y fusionan de manera gradual, para constituir la **porción muscular del tabique interventricular**. El **foramen interventricular** ubicado por encima de la porción muscular del tabique interventricular se oblitera una vez que se completa la formación del **tabique del cono**.

Norma



Prominencia menor del tronco

Prominencia derecha del tronco



El cierre completo del foramen interventricular da origen a la **porción membranosa del tabique interventricular**.

## **Valvulas semilunares**

Cuando la división del tronco arterial está por completarse aparecen los primordios de las valvulas semilunares, que pueden observarse como pequeños tubérculos ubicados sobre las principales protuberancias troncales. Un tubérculo aparece en ambos conductos en un sitio opuesto a las protuberancias troncales fusionadas. De manera gradual, la cara superior de los tubérculos se ahueca y se forman las **Valvulas semilunares**.

## **Formación del sistema de conducción cardiaca**

Al inicio todas las células miocárdicas en el tubo cardiaco tienen actividad de marcapasos y el corazón comienza a latir alrededor de los 21 días de la gestación. Poco después el **marcapasos** cardiaco queda restringido a la región caudal izquierda del tubo cardiaco. El **nodo auriculo-ventricular (AV)** inicia su formación a partir de un grupo de células distribuidas en torno al conducto auriculoventricular, que coalescen para constituir el nodo AV.

## **Desarrollo vascular**

El desarrollo de los vasos sanguíneos ocurre por dos mecanismos: (1) **Vasculogénesis**, en que los vasos sanguíneos surgen por la coales-



Cencia de **angioblastos** y (2) **angiogénesis**, en que los vasos sanguíneos brotan de otros existentes. En todo el sistema los patrones se definen gracias a impulsos orientadores que implican al **factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF)** y otros factores de crecimiento.

## Sistema arterial

### Arcos aórticos

Los **arcos aórticos**, derivan del **saco aórtico**, la porción más distal del tronco arterial.

### Arterias vitelinas y umbilicales

Las **arterias vitelinas**, que al inicio son una serie de vasos en par que irrigan el saco vitelino, se fusionan de manera gradual y conforman las arterias del mesenterio dorsal del intestino.

Las **arterias umbilicales**, que al inicio son pares de ramas ventrales de la aorta dorsal, se dirigen hacia la placenta en relación estrecha con el alantoides.

### Arterias coronarias

Las **arterias coronarias** derivan del **epicardio**, que se diferencia a partir del **organo proepicardico**.