

Embriogénesis y Desarrollo Fetal

Un recorrido completo por las etapas del desarrollo humano desde la concepción hasta el nacimiento, abarcando la formación de órganos, sistemas fisiológicos y el papel fundamental de la placenta en el crecimiento fetal.

Edad Gestacional

Edad gestacional (menstrual)

Tiempo desde el primer día del último periodo menstrual (LMP).

Edad de ovulación o posconcepción

≈2 semanas menos que la edad gestacional.

La estimación tradicional es de 280 días o 40 semanas desde LMP. Sin embargo, el método más preciso es el ultrasonido del primer trimestre. En embarazos por reproducción asistida, se usa la edad gestacional calculada desde la transferencia embrionaria.

Se compara la edad por LMP y la edad ecográfica para definir la fecha estimada de parto (EDC). Se debe cambiar EDC si la diferencia con ecografía es >5 días (antes de 9 sem), >7 días (después).

Regla de Naegele: $LMP + 7 \text{ días} - 3 \text{ meses} = EDC$

El embarazo se divide en 3 trimestres de 14 semanas cada uno.

Desarrollo Embrionario

De cigoto a blastocisto

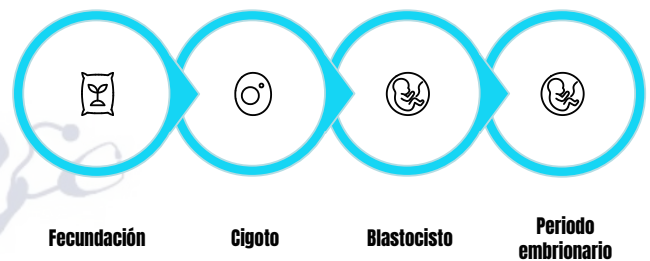
La fecundación da origen al cigoto, que evoluciona a blastocisto aproximadamente 6-7 días post-fecundación. El blastocisto contiene 58 células: 5 de la masa interna que formarán el embrión y 53 que formarán el trofoblasto placentario.

Periodo embrionario

Inicia en la semana 3 post ovulación (~5 semanas gestacional). Dura 6 semanas y comprende la organogénesis. Durante este periodo se forma el disco embrionario, vellosidades coriónicas, circulación fetal y el tubo neural.

Hitos del desarrollo temprano

- Semana 3-4: formación del tubo neural, arcos branquiales, brotes de extremidades, latido cardíaco
- Semana 6: cierre del tubo neural; embrión de 9 mm; actividad cardíaca detectable (124 lpm)
- Semana 8: final del periodo embrionario → transición a periodo fetal



Desarrollo y Fisiología Fetal

El periodo fetal inicia a las 9 semanas gestacional (7 semanas posconcepción) y se caracteriza por el crecimiento y maduración de los órganos formados durante la embriogénesis.



Sistema Nervioso Central y Cardiovascular

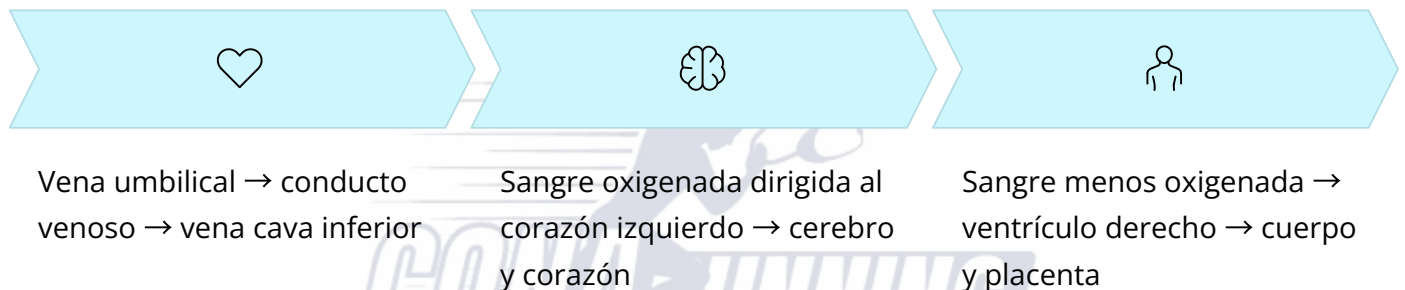
Sistema nervioso central

El cierre del tubo neural ocurre a los 38 días (cefálico) y 40 días (caudal). Las vesículas cerebrales se desarrollan en dos fases: 3 primarias en la semana 6 y 5 secundarias en la semana 7.

La proliferación y migración neuronal tiene lugar entre las semanas 12-24. La mielinización inicia en raíces ventrales y cerebelo a los 6 meses, y progresa postnatalmente. La médula espinal se extiende a S1 a las 24 semanas y a L1 en adultos.

Sistema cardiovascular

La formación del tubo cardíaco comienza el día 23; se curva y forma cámaras y septos. En la circulación fetal, los ventrículos trabajan en paralelo.



El conducto arterioso desvía el 90% del flujo del ventrículo derecho. Al nacer, se produce el cierre de foramen oval, conducto arterioso y venoso. El volumen fetoplacentario es de ≈ 125 mL/kg peso fetal.

Hematopoyesis y Sistema Respiratorio

Hematopoyesis

La hematopoyesis progresa desde el saco vitelino → hígado → bazo → médula ósea. Los eritrocitos iniciales son nucleados y macrocíticos (180 fL → 105 fL al término).

La eritropoyetina fetal está regulada por testosterona, estrógenos y prostaglandinas.

- ❏ **Hemoglobina fetal (HbF):** Tiene alta afinidad por O₂ (bajo 2,3-DPG). Está presente en 75% al término y disminuye en los primeros 6-12 meses postnatales.

Los factores de coagulación presentan bajos niveles de factores dependientes de vitamina K, mientras que las plaquetas están dentro del rango adulto. Las proteínas plasmáticas, especialmente la albúmina fetal similar a materna, son importantes para el transporte de bilirrubina.

Maduración pulmonar

Pseudoglandular

Sem 5-17: desarrollo bronquial

Canalicular

Sem 16-25: bronquiolos y conductos saculares

Saco terminal

>25 sem: sacos alveolares primitivos

Alveolar

Últimas semanas - niñez: alvéolos definitivos

El surfactante es producido por neumocitos II y contiene DPPC (lecitina), SP-A y SP-B. Los glucocorticoides (betametasona, dexametasona) inducen maduración pulmonar. Los movimientos respiratorios son observables desde la semana 11 por ecografía.

Sistema Digestivo, Hígado y Páncreas

Sistema digestivo

El sistema digestivo deriva del saco vitelino: intestino anterior, medio y posterior. La deglución comienza desde la semana 10-12, y la peristalsis desde la semana 12, con absorción de proteínas (800 mg/día).

Las enzimas digestivas se desarrollan progresivamente: pepsinógeno en la semana 16, amilasa en la semana 14 y factor intrínseco en la semana 11.

El meconio contiene células fetales, secreciones, lanugo y pigmentos biliares; su expulsión puede indicar hipoxia fetal.

Hígado

- Baja capacidad para conjugar bilirrubina → riesgo de hiperbilirrubinemia neonatal
- Excreción de bilirrubina libre al líquido amniótico
- Fuente de colesterol fetal
- Acumula glucógeno al término (2-3× que adulto)

Páncreas

- Insulina detectable: sem 12
- Glucagón: sem 8, responde postnatalmente
- Enzimas (amilasa, lipasa, tripsina): desde sem 14-16

Sistemas Urinario, Endocrino e Inmunológico

Sistema urinario

El pronefros y mesonefros son rudimentarios. El metanefros (riñón definitivo) es funcional desde la semana 9-12. La orina fetal se produce desde la semana 12: 7-14 mL/día (sem 18), hasta 650 mL/día al término.

La función renal es limitada: la orina es hipotónica con baja concentración de electrólitos. La regulación se realiza mediante el sistema renina-angiotensina, prostaglandinas y ANP. El oligohidramnios por anuria puede causar hipoplasia pulmonar.

Glándulas endocrinas

Hipófisis

ACTH detectable: sem 7.
GH, LH: sem 13. Todas las hormonas hipofisarias presentes para sem 17.

Tiroides

Funcional desde sem 10-12. La placenta impide paso de T_4 materna → riesgo fetal si hay hipotiroidismo fetal. TSH fetal elevada; T_3 bajo.

Suprarrenales

Grandes en proporción al cuerpo. Zona fetal prominente, involuciona postnatalmente.

Sistema inmunológico

La IgG es la única inmunoglobulina materna que cruza la placenta (desde sem 16). La IgM e IgA no cruzan placenta; su presencia en el feto indica infección congénita. Los linfocitos B aparecen desde la semana 9, y los linfocitos T migran del timo desde la semana 14. La inmunidad celular es inmadura con respuestas deficientes a antígenos.

Sistema músculo-esquelético

Derivado del mesodermo (mesénquima → cartílago → hueso). La osificación endocondral comienza desde el fin del periodo embrionario. Los brotes de extremidades aparecen en la semana 4.

Energía y Nutrición Fetal

El feto depende de nutrientes maternos desde el inicio. La placenta actúa como sensor y regulador del transporte de nutrientes.



Glucosa

Nutriente fetal más importante. Transportada por GLUT-1 y GLUT-3. HPL materno reduce uso materno de glucosa, aumentando disponibilidad fetal.



Lípidos

Los triglicéridos no cruzan placenta, pero el glicerol sí. Preferencia por transferencia de ácidos grasos poliinsaturados. LDL placentaria: fuente de colesterol, aminoácidos y ácidos grasos esenciales.



Aminoácidos y proteínas

Alta concentración fetal por transporte activo placentario. mTORC1 regula el transporte según factores ambientales y hormonales. IgG transferida por endocitosis; IgA e IgM no.

Iones y metales

- Calcio, fósforo: transferencia activa para mineralización ósea
- Yoduro: la placenta lo concentra activamente
- Zinc: > en plasma fetal
- Cobre: < en plasma fetal
- Metales pesados: la placenta filtra parcialmente; el plomo cruza, el cadmio casi no

Vitaminas

- Vitamina A: > en plasma fetal
- Vitamina D: metabolitos mayores en madre; la placenta produce 1 α -hidroxilación
- Vitamina C: transferencia por transporte activo

Papel de la Placenta

La placenta cumple funciones esenciales de intercambio de gases, nutrientes y desechos. La sangre fetal y materna no se mezclan directamente. La transferencia transplacentaria depende de difusión, transporte activo y facilitado.

Oxígeno

La P_{O_2} venoso umbilical es ≈ 30 mm Hg. La HbF tiene mayor afinidad por O_2 que la hemoglobina adulta, lo que facilita la captación de oxígeno a pesar de la baja presión parcial.

Dióxido de carbono

El CO_2 difunde más rápido que el O_2 a través de la placenta, permitiendo una eliminación eficiente de este producto de desecho metabólico fetal.

