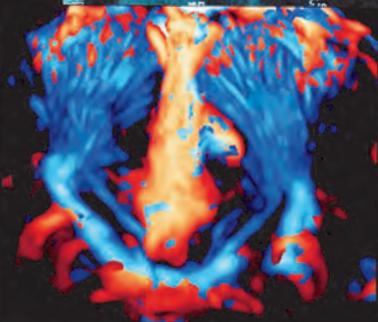
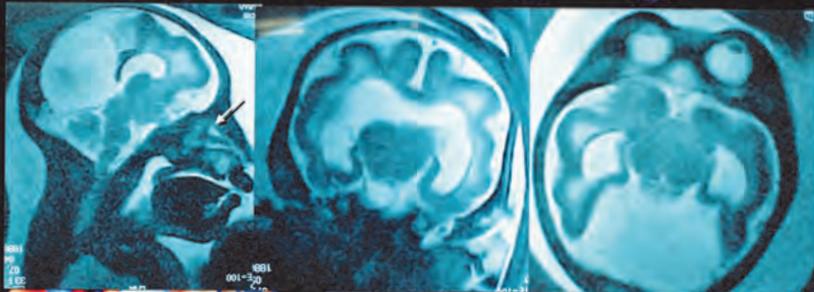


# Neurología Fetal

Ritsuko K. Pooh • Asim Kurjak

*Prologado por: Frank A. Chervenak*



  
**AMOLCA**

# Neurología fetal

## *Editores*

**Ritsuko K Pooh** MD PhD

Director de la Escuela Donald Ian  
Sección japonesa

**Asim Kurjak** MD PhD

Profesor de Obstetricia y Ginecología  
Universidades de Zagreb y Sarajevo  
Director de la Escuela Donald Ian  
de la Universidad Ultrasonido Médico  
Croacia

PARA UNA GINECOLOGIA EXITOSA

# Colaboradores

## **Badreldeen Ahmed**

Profesor y Presidente  
del Departamento de Obstetricia  
y Ginecología  
Jefe de la Unidad Feto-Maternal  
Hospital de la Mujer  
Hamad Medical Corporation  
Doha, Qatar

## **Claudine Amiel-Tison**

Profesor Emérito de Pediatría  
Universidad de París V  
Saint-Vincent de Paul Hospital  
París, Francia

## **Guillermo Azumendi Pérez**

Unidad de Ultrasonido  
Clínica Gutenberg  
Málaga, España

## **Graziano Clerici**

Centro de reproducción y  
Medicina Perinatal  
Hospital Universitario "Monteluce"  
Perugia, Italia

## **Gian Carlo Di Renzo**

Profesor y Presidente  
Departamento de Obstetricia y  
Ginecología y Centro de Medicina  
Perinatal y Reproductiva  
Santa Maria della Misericordia  
Hospital Universitario  
San Sisto - Perugia, Italia

## **Julie Gosselin**

Profesor Asociado  
Escuela de Rehabilitación  
Facultad de Medicina  
Universidad de Montreal  
Montreal (Québec)  
Canadá

## **Milos Judas**

Sección de Neurociencias del Desarrollo  
Departamento de Neurociencias  
Instituto Croata para la Investigación  
del Cerebro. Escuela de Medicina  
de la Universidad de Zagreb  
Zagreb, Croacia

## **Ivica Kostovic**

Profesor de Neurología y Anatomía  
Director del Instituto Croata para las  
Investigaciones sobre el Cerebro  
Escuela de Medicina de la  
Universidad de Zagreb  
Zagreb, Croacia

## **Asim Kurjak**

Profesor de Obstetricia y Ginecología  
Universidades de Zagreb y Sarajevo  
Director de la Escuela Donald Ian  
de la Universidad Ultrasonido Médico  
Croacia

## **Iva Lausin**

Departamento de Obstetricia y  
Ginecología  
Facultad de Medicina del Hospital de  
la Universidad de Sveti Duh de Zagreb  
Zagreb, Croacia

## **Ingrid Marton**

Departamento de Obstetricia y  
Ginecología  
Facultad de Medicina del Hospital  
de la Universidad de Sveti Duh  
Zagreb, Croacia

## **Berivoj Miskovic**

Presidente Interino del Departamento  
de Obstetricia y Ginecología  
Facultad de Medicina del Hospital de  
la Universidad de Sveti Duh  
Zagreb, Croacia

**Tomoko Ogura**

Departamento de Obstetricia y Ginecología  
Hospital General Taijukai Kaisei  
Kagawa, Japón

**Ritsuko K Pooh**

Director de la Escuela Donal Ian  
Sección japonesa

**Maja Predojevic**

Instituto Croata para la Investigación del Cerebro. Escuela de Medicina de la Universidad de Zagreb  
Zagreb, Croacia

**Aida Salihagic Kadic**

Profesor del Departamento de Fisiología  
Escuela de Medicina de la Universidad de Zagreb  
Zagreb, Croacia

**Kohei Shiota**

Departamento de Anatomía y Biología del Desarrollo y Anomalía

congénita del Centro de Investigación Universidad de Kyoto, Escuela de Graduados de Medicina  
Kioto, Japón

**Milan Stanojevic**

Departamento de Obstetricia y Ginecología. Facultad de Medicina del Hospital de la Universidad de Sveti Duh de Zagreb  
Zagreb, Croacia

**Ana Stavljenic-Rukavina**

Profesor de la Cámara de Médicos Bioquímicos  
Zagreb, Croacia

**Ana Tikvica**

Departamento de Obstetricia y Ginecología. Facultad de Medicina del Hospital de la Universidad de Sveti Duh de Zagreb  
Zagreb, Croacia



# Prólogo

Más que ninguna otra innovación, el ultrasonido obstétrico ha transformado en una generación, la práctica clínica desde los años de oscuridad a la iluminación. Es difícil hallar un aspecto de la práctica obstétrica moderna que no utilice la capacidad de ver al feto como un paciente. La frontera más excitante en la comprensión y cuidado clínico alcanzada con el surgimiento del ultrasonido es el campo de la neurología fetal. Asim Kurjak y Ritsuko K Pooh han sido pioneros en este campo y este texto presenta la vanguardia con investigadores líderes de todo el mundo.

La embriología forma la base de nuestra comprensión y Kohei Shiota es el líder mundial en este campo vital. Asim Kurjak, Ritsuko K Pooh, Guillermo Azumendi, Aida Salihagic Kadic y sus equipos, describen en un exquisito y bello detalle, nuestra habilidad actual para ver la estructura y la función del sistema nervioso fetal. Ellos son unos verdaderos artistas al utilizar una forma maravillosa de arte. La importante relación del paciente fetal y el recién nacido es presentado por Claudine Amiel-Tison, una pionera y Milan Stanojevic, un emergente líder neonatal en este campo. Los nuevos tópicos de la hemodinamia cerebral, la maduración de las conexiones cerebrales y la genética molecular son lúcidamente presentados por las autoridades mundiales como son Graziano Clerici, Gian Carlo Di Renzo, Ivica Kostovic y Ana Stavljenic-Rukavina.

Este libro, *Neurología fetal*, presenta el arte y la ciencia de un campo emergente que seguramente va a crecer en importancia clínica. Este texto es recomendado para todo aquel que desee aprender qué puede hacer con un moderno ultrasonido obstétrico y lo hará.

**Frank A. Chervenak, MD**

# Prefacio

La comprensión de la estructura y función del sistema nervioso fetal ha sido el sueño de muchos médicos por siglos. Los esfuerzos pioneros de Ian Donald en el ultrasonido obstétrico al final del siglo XX han permitido que este sueño se convirtiera en una realidad. La contribución inicial del ultrasonido obstétrico se enfocó en la estructura normal y anormal. Inicialmente, la anencefalia fue descrita y seguida progresivamente por anomalías sutiles del sistema nervioso central tales como la agenesia del cuerpo caloso y los cambios del desarrollo de los vasos cerebrales.

El reto actual y evolutivo para los investigadores en el ultrasonido obstétrico es tener un éxito similar con la comprensión de las funciones neurológicas fetales. Hay muchas anomalías neurológicas tales como la parálisis cerebral cuyas causas son sobremente entendidas. Esta incertidumbre en cuanto a la causalidad vitaliza las demandas de los abogados en Estados Unidos y progresivamente alrededor del mundo, al relacionar estas anomalías neurológicas exclusivamente a los eventos en el momento del parto como el uso de oxitocina, partos instrumentales con fórceps y la falla para realizar una cesárea. Mientras que hay algunos casos donde probablemente la causa está relacionada a tales eventos en el momento del parto, pero usualmente no es el caso.

Un reto evolutivo para la profesión médica es el definir mejor la estructura y la función neurológica normal y anormal del feto en el útero de tal manera que podemos predecir mejor antes del nacimiento qué fetos están en riesgo de resultados neurológicos adversos independientemente del manejo en el parto.

Un avance significativo fue la introducción del ultrasonido 3D/4D de alta calidad el cual permitió al observador llevar a cabo observaciones en tiempo real con una dinámica suficiente y una buena resolución de imagen y permitió la producción de una nueva prueba de puntaje prenatal KANET.

A pesar de que las investigaciones clínicas de posibles aplicaciones del ultrasonido 4D son infrecuentes y raras, la nueva herramienta diagnóstica parece ser bastante promisoría, particularmente para evaluaciones más precisas y fiables del comportamiento fetal a través de

todos los trimestres del embarazo. Hay un gran potencial para posibles descubrimientos de pruebas neurológicas para fetos.

Además, un rápido crecimiento del cuerpo de la evidencia indirecta muestra la posición considerable de que el daño cerebral adquirido es debido a complicaciones prenatales. Sin embargo, los métodos adecuados para el diagnóstico prenatal de disfunción cerebral aún son escasos.

Sinceramente esperamos que nuestro libro ayude a aquellos que están entrando en el campo y a aquellos que ya están en el mismo, en la mejor comprensión de los puntos complicados de la estructura y función fetal.

Nuevamente fue prestada una gran ayuda por la Sra. Jadranka Cerovec y nosotros realmente disfrutamos el trabajar con nuestra excelente editorial Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.

**Ritsuko K. Pooh**  
**Asim Kurjak**



# Contenido

- 1. Embriología del cerebro humano..... 1**  
*Kohei Shiota*
- 2. Neuroanatomía visualizada en 2D y 3D ..... 15**  
*Ritsuko K Pooh*
- 3. Vascularidad normal y anormal del cerebro ..... 39**  
*Ritsuko K Pooh, Asim Kurjak, Ana Tikvica*
- 4. Neuroescáner de anomalías congénitas cerebrales ..... 59**  
*Ritsuko K Pooh*
- 5. Neuroescáner de vértebras y médula espinal normal y anormal ..... 141**  
*Ritsuko K Pooh, Asim Kurjak*
- 6. Avances en neurofisiología ..... 161**  
*Aida Salihagic Kadic, Maja Predojevic, Asim Kurjak*
- 7. Evaluación del neurocomportamiento fetal mediante ultrasonido 3D/4D ..... 221**  
*Asim Kurjak, Ritsuko K Pooh, Ana Tikvica, Milan Stanojevic Berivoj Miskovic, Badreldeen Ahmed, Guillermo Azumendi*
- 8. Comportamiento fetal en embarazos de alto riesgo evaluados mediante diferentes formas técnicas de ultrasonido ..... 287**  
*Asim Kurjak, Ritsuko K Pooh, Ana Tikvica, Berivoj Miskovic, Milan Stanojevic, Badreldeen Ahmed*
- 9. Manos fetales, posición de los dedos y movimiento normal y anormal en el primer trimestre y el segundo trimestre temprano detectado por ultrasonido 3D y 4D .. 315**  
*Ritsuko K Pooh, Asim Kurjak, Tomoko Ogura*
- 10. La evaluación de la cara como una fuente de información de la integridad del neurosistema fetal ..... 329**  
*Guillermo Azumendi, Asim Kurjak, Iva Lausin*
- 11. Neurología fetal en embarazos múltiples ..... 353**  
*Ingrid Marton, Asim Kurjak, Guillermo Azumendi*

<b>12. Desde la neurología neonatal a la fetal: algunas ideas para interpretar los hallazgos fetales .....</b>	<b>373</b>
<i>Claudine Amiel-Tison, Julie Gosselin</i>	
<b>13. Continuidad entre el neurocomportamiento fetal y neonatal .....</b>	<b>405</b>
<i>Milan Stanojevic, Asim Kurjak</i>	
<b>14. Hemodinamia cerebral y estados de comportamiento fetal en fetos con retardo de crecimiento intrauterino (RCIU) .....</b>	<b>429</b>
<i>Graziano Clerici, Gian Carlo Di Renzo</i>	
<b>15. Maduración de las conexiones cerebrales y el comportamiento fetal .....</b>	<b>439</b>
<i>Ivica Kostovic, Milos Judas</i>	
<b>16. Genética molecular y cerebro fetal .....</b>	<b>453</b>
<i>Ana Stavljenic-Rukavina, Asim Kurjak, Ritsuko K Pooih</i>	
<b>Índice .....</b>	<b>485</b>



# 2

## Neuroanatomía visualizada en 2D y 3D

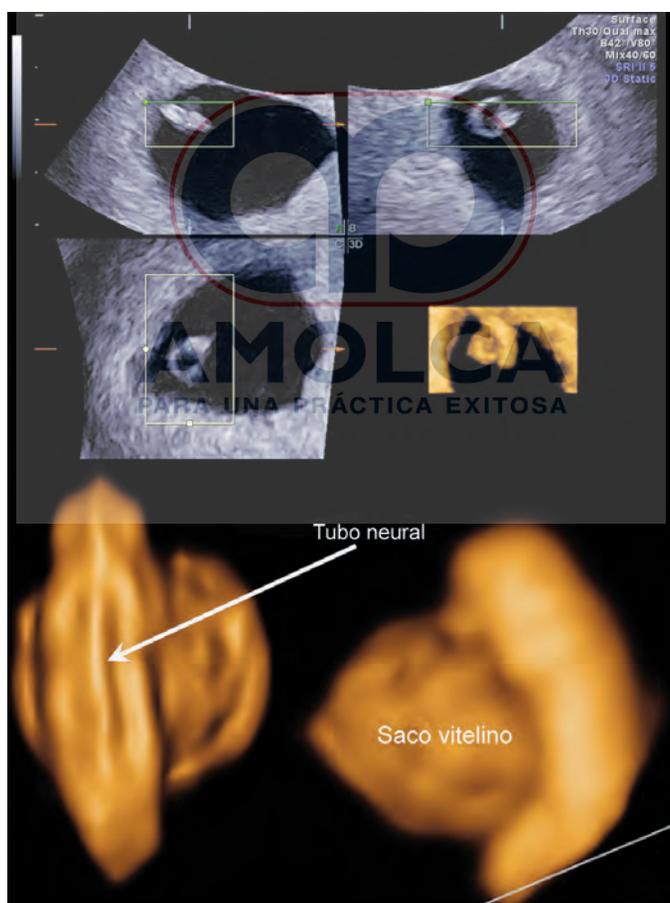


*Ritsuko K Pooh*

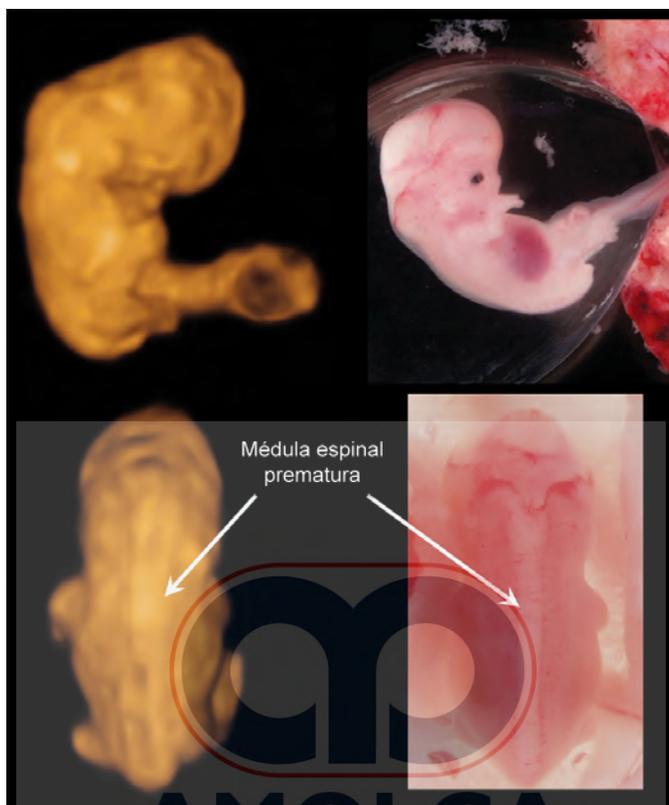
## El cerebro del primer al tercer trimestre

### El cerebro en el primer trimestre

Desde la introducción del transductor transvaginal de alta frecuencia, la visualización ultrasonográfica de embriones y fetos en etapas tempranas ha progresado remarcablemente y la sonoembriología<sup>1</sup> ha sido establecida. Además, la introducción reciente de ultrasonidos 3D y 4D combinados con el abordaje transvaginal ha producido una información más objetiva y precisa del desarrollo embrionario y fetal temprano.<sup>2,3</sup> La demostración de embriones pequeños menores a 10 mm de longitud mayor ha sido difícil y no visualizada en detalle. La **Figura 2.1** muestra un embrión de 5 mm de longitud con su saco embrionario a las seis semanas de gestación, con demostración exitosa

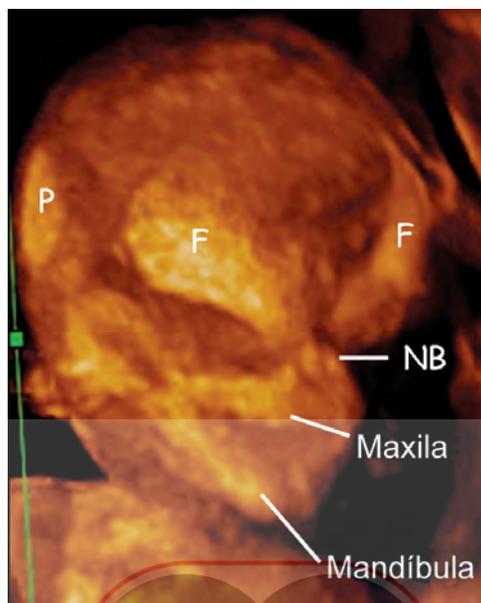


**Figura 2.1:** Imagen 3D reconstruida del saco vitelino y de un embrión con LCR 5,5 mm (6 semanas de gestación). Embrión normal de 6 semanas (LCR 5,5 mm) y saco vitelino. La vista occipital muestra el tubo neural sobre la espalda embrionaria.

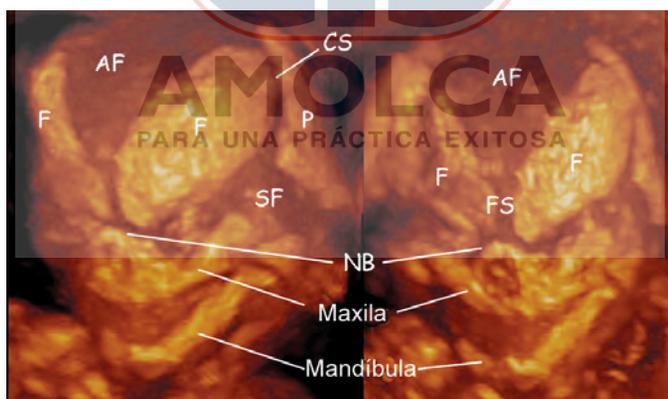


**Figura 2.2:** Imágenes de ultrasonido 3D de un embrión a las 8 semanas de gestación (izquierda) e imágenes macroscópicas de feto abortado en la misma gestación (derecha). Embrión normal de 8 semanas. Vista lateral (superior izquierda) y vista occipital (inferior izquierda). La vista occipital muestra la médula espinal prematura, la cual es vista en la foto derecha.

del tubo neural. La **Figura 2.2** muestra un embrión con LCR de 18,3 mm a las 8 semanas de gestación y las imágenes macrográficas de un espécimen abortado a la misma edad gestacional. Las imágenes 3D de aquellos embriones pequeños fueron demostradas por el más reciente equipo de 3D con transductor transvaginal de alta frecuencia (Voluson® E8 con 12 MHz / 256 elemento de sonda vaginal, GE Healthcare, Milwaukee, EUA). El modo máximo de ultrasonidos 3D puede demostrar estructuras óseas fetales y Chaoui y cols.<sup>4</sup> reportaron imágenes claras de diagnóstico 3D de suturas metópicas anormales en el segundo trimestre. Sin embargo, la rápida osificación de los huesos craneofaciales ocurre dramáticamente durante el primer trimestre. La estructura ósea craneofacial puede ser demostrada desde la 10<sup>a</sup> semana de gestación mediante ultrasonido. Las **Figuras 2.3 y 2.4** muestran la estructura prematura de los huesos craneofaciales visualizada mediante la utilización del modo máximo de ultrasonido 3D en la 11<sup>a</sup> y

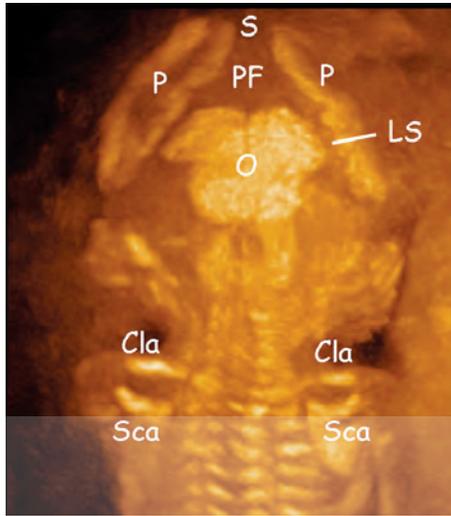


**Figura 2.3:** Imagen 3D en modo máximo de una estructura craneofacial normal a la 11a semana de gestación. Son reconocibles la estructura ósea prematura del hueso frontal (F), hueso parietal (P), hueso nasal (NB), maxila y mandíbula.



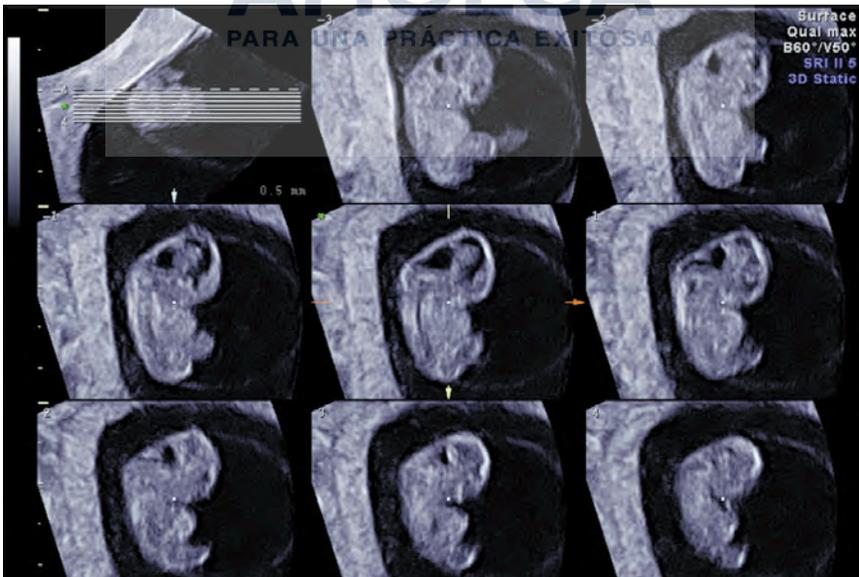
**Figura 2.4:** Imagen 3D en modo máximo de una estructura craneofacial normal a la 14a semana de gestación. (Izquierda) vista oblicua. (Derecha) vista frontal. La fontanela anterior (AF), la fontanela esfenoidal (SF), la sutura frontal (FS), la sutura coronal (CS), el hueso nasal (NB), la maxila y la mandíbula son formados gradualmente de acuerdo al desarrollo óseo craneal.

14<sup>a</sup> semanas de gestación respectivamente. La diferencia en el aspecto del hueso frontal entre la 11<sup>a</sup> y 14<sup>a</sup> semanas de gestación indica la osificación membranosa del cráneo en esta etapa. La **Figura 2.5** demuestra la estructura ósea de la región occipital de la cabeza a las 13 semanas de gestación.



**Figura 2.5:** Imagen 3D en modo máximo de vista occipital a la 13a semana de gestación. Observe la apariencia del hueso occipital prematuro. La grieta de la línea media es demostrada. S: sutura sagital, P: hueso parietal, PF: fontanela posterior, O: hueso occipital, Cla: clavícula, Sca: escápula, LS: sutura lambdaoidea.

Durante el período embrionario temprano, la estructura del sistema nervioso central cambia su apariencia rápidamente. Recientemente el ultrasonido 3D avanzado produjo imágenes en alta resolución de embriones en etapas tempranas mediante tecnología de imágenes de ultrasonido tomográficas e imágenes ortogonales en tres planos (**Figuras 2.6 a 2.10**). Como la misma sección de corte se puede obtener en



**Figura 2.6:** Imágenes tomográficas sagitales de un feto normal al comienzo de la 8a semana de gestación.

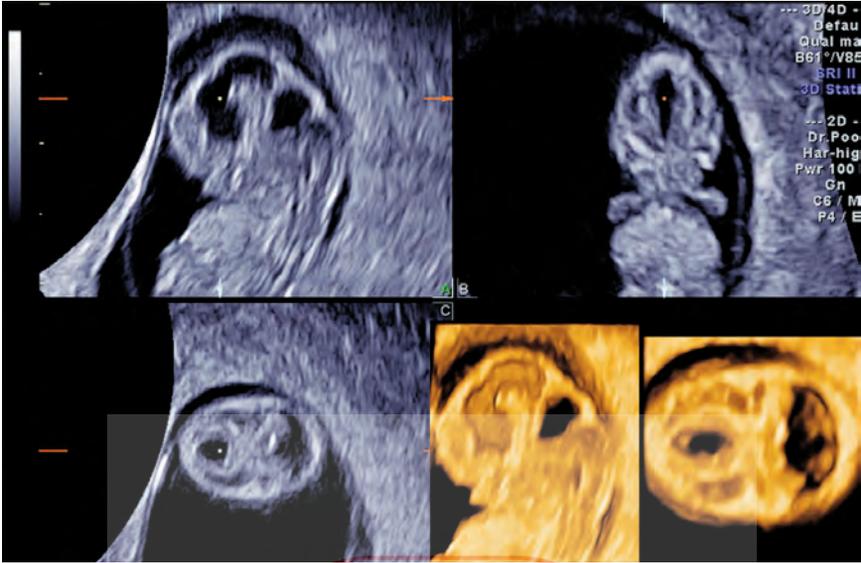


Figura 2.7: Imágenes ortogonales en tres planos y corte grueso de imagen 3D reconstruida (derecha inferior) de un cerebro normal al final de la 8a semana de gestación. Se visualiza el desarrollo del sistema ventricular prematuro. Observe la apariencia diferente desde el comienzo de la 8a semana de gestación (Figura 2.6).

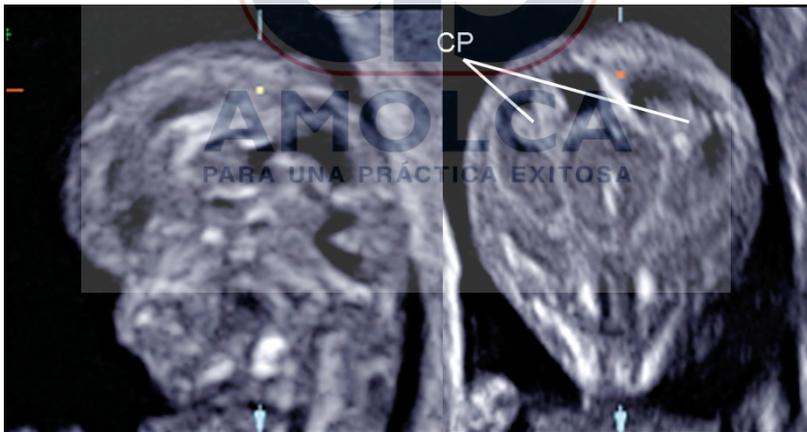
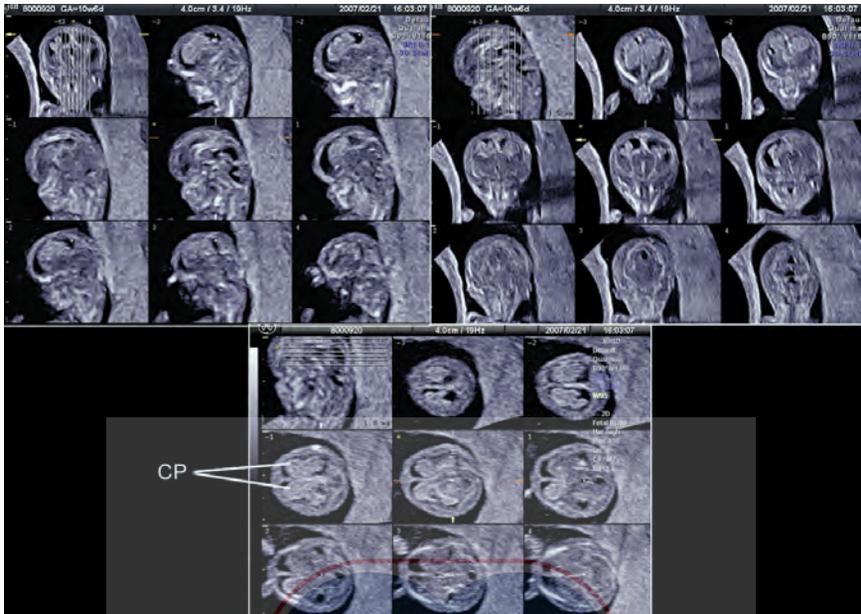
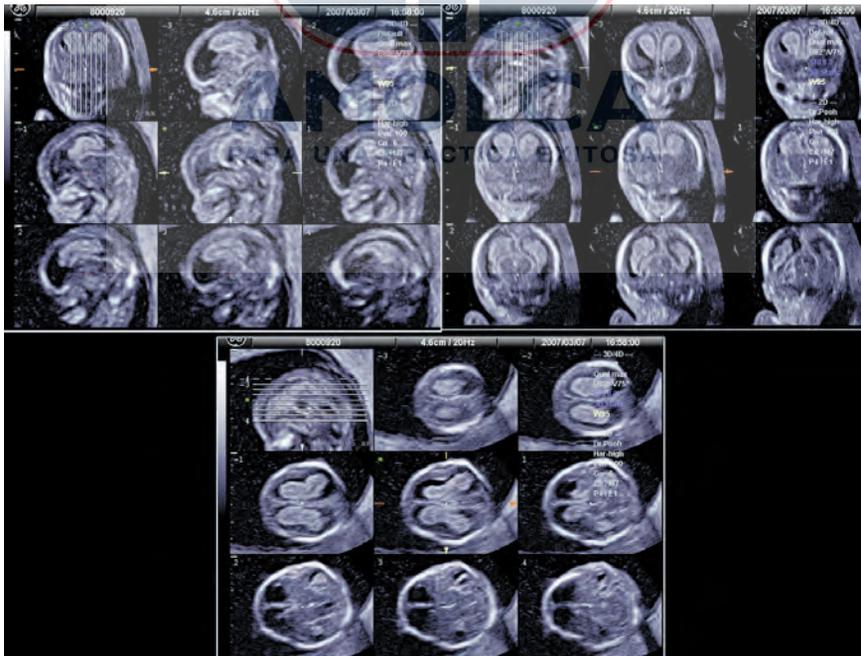


Figura 2.8: Corte sagital y coronal de un feto de 10 semanas. CP: Plexo coroides de los ventrículos laterales.

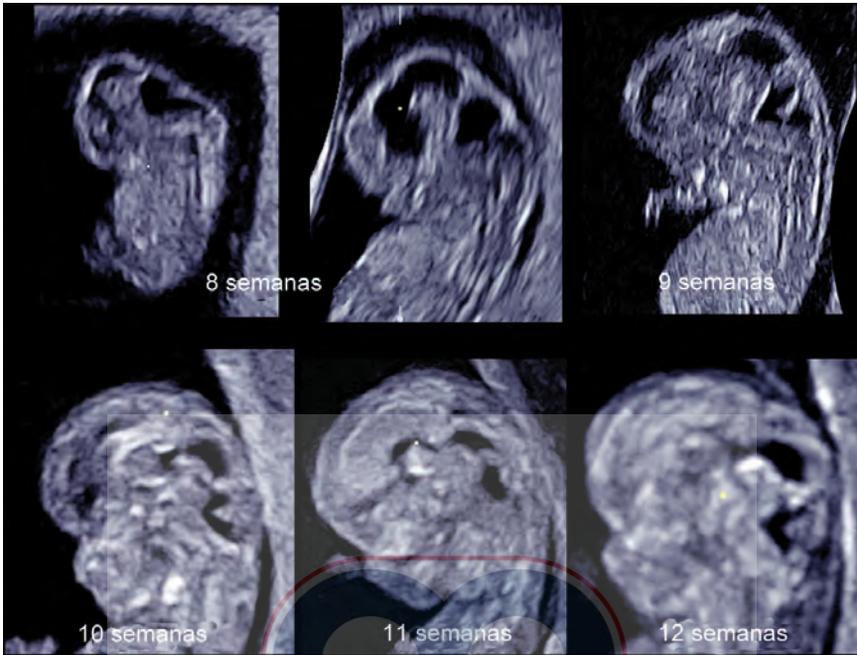
diferentes estadios fetales utilizando el ultrasonido 3D, los cambios en la apariencia del cerebro prematuro son reconocibles como se muestra en la Figura 2.11. Aquellas imágenes 3D neurosonoembriológicas *in utero* pueden cambiar el estadio embrionario *in vivo* en el futuro, desde «la edad gestacional basada en el período menstrual o en la medición de la longitud cráneo-rabadilla» hasta «el sistema de estadio morfológico» tal como los estadios morfológicos de Carnegie en embriología.



**Figura 2.9: Cerebro normal a la 10a semana.** Imágenes tomográficas de ultrasonido de cortes sagital (izquierda superior), coronal (derecha superior) y axial (inferior). El plexo coroides (CP) ocupa la mayor parte de los ventrículos laterales.



**Figura 2.10: Cerebro normal a la 12a semana.** Imágenes tomográficas de ultrasonido de cortes sagital (izquierda superior), coronal (derecha superior) y axial (inferior). El plexo coroides (CP) aún ocupa la mayor parte de los ventrículos laterales.



**Figura 2.11:** Desarrollo del cerebro normal en un corte medio sagital (corte entre la 8a y 12a semana de gestación).

## El cerebro en el 2do y 3er trimestres

La tecnología de imágenes ha sido mejorada remarkablemente y ha contribuido a la evaluación prenatal del desarrollo del sistema nervioso central (SNC) y a la evaluación de las anomalías del SNC *in utero*.

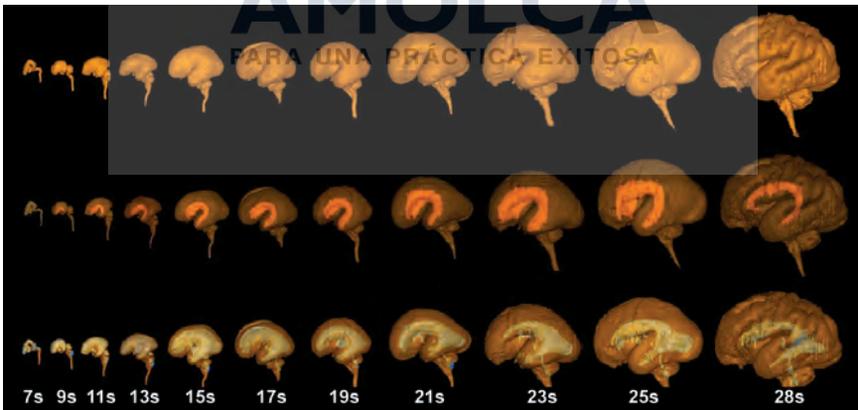
La ultrasonografía abdominal convencional, mediante la cual es posible observar al feto a través de la pared abdominal materna, pared uterina y algunas veces la placenta, ha sido más ampliamente utilizada para diagnóstico de imágenes antenatal. Mediante el abordaje transabdominal, el sistema nervioso central completo del feto puede ser bien demostrado, por ejemplo, el cerebro en el corte transversal y la columna en el corte sagital. Sin embargo, el abordaje transabdominal del sistema nervioso central fetal tiene muchos obstáculos tales como la pared abdominal materna, la placenta y los huesos craneales fetales y es difícil obtener imágenes claras y detalladas de estructuras del SNC fetal.

La introducción de transductores transvaginales de alta frecuencia ha contribuido a establecer la «sonoembriología»<sup>1</sup> y el uso general reciente de la sonografía transvaginal en el embarazo temprano permitió diagnósticos tempranos de anomalías fetales importantes.<sup>5</sup> En la mitad y al final del embarazo, el SNC fetal generalmente es evaluado a tra-

vés de la pared abdominal materna. El cerebro, sin embargo, es una estructura tridimensional y debe ser evaluado en los tres planos de corte básicos sagital, coronal y transversal. La evaluación sonográfica del cerebro fetal en los cortes sagital y coronal requiere un abordaje a través de la fontanela anterior/posterior y/o la sutura sagital. La sonografía transvaginal del cerebro fetal abrió un nuevo campo en la medicina, la «neurosonografía». <sup>6</sup> El abordaje transvaginal del cerebro fetal normal durante el segundo y tercer trimestres fue introducido a comienzo de los años 1990. Esa fue la primera aplicación práctica de la evaluación tridimensional del sistema nervioso central mediante un ultrasonido bidimensional (2D). <sup>7</sup> La observación transvaginal del cerebro fetal ofrece vistas sagitales y coronales del cerebro <sup>5-8</sup> a través de las fontanelas y/o la sutura sagital como ventanas de ultrasonido. Cortes oblicuos seriados <sup>6</sup> a través de la misma ventana de ultrasonido revelan la morfología intracraneana en detalle. Este método ha contribuido a la evaluación prenatal de anomalías congénitas del SNC y daños cerebrales adquiridos *in utero*.

### Conocimiento anatómico básico del cerebro

Como se describió anteriormente, el cerebro debe ser entendido como una estructura tridimensional y debe considerarse todo el tiempo cuán excepcional es el desarrollo del cerebro durante el embarazo. La **Figura**



**Figura 2.12: Reconstrucción 3D de imágenes de resonancia magnética de la superficie cerebral, la matriz germinal y el sistema ventricular.** Imágenes de resonancia magnética sucesivas de fetos nacidos que muestran los cambios de la configuración lateral del cerebro, la matriz germinal y el sistema ventricular. La superficie del cerebro (hiler superior), la matriz germinal (hiler del medio, anaranjado) y el sistema ventricular (hiler inferior, azul) del cerebro fetal humano fueron reconstruidos por interpretación de la superficie. El volumen de la matriz germinal aumenta hasta las 23 semanas de edad gestacional y disminuye rápidamente a las 28 semanas de edad gestacional. Observe cómo cambian los ventrículos laterales desde el tipo fetal, con aspecto vesicular y forma bicornuda a la forma adulta a medida que aumenta la edad gestacional (imagen cortesía del Dr. Kinoshita, de AJNR 2001, 22: 382).

2.12 muestra la reconstrucción 3D de imágenes de resonancia magnética de la superficie cerebral, la matriz germinal y el sistema ventricular. El desarrollo cortical, resultado de la migración, proliferación y organización es reconocible en la última mitad del embarazo, como una formación de giros y surcos de la superficie cerebral. El volumen de la matriz germinal se incrementa hasta la 23ª semana de gestación y disminuye rápidamente en la semana 28ª de gestación.<sup>9</sup> Debe considerarse cómo cambian los ventrículos laterales desde el tipo fetal, con aspecto vesicular y forma bicornuda, al tipo adulto. Generalmente se cree que la anatomía del cerebro es complicada y habrá muchos términos para recordar. Sin embargo, para demostrar la estructura del cerebro y evaluar las alteraciones del SNC fetal, no es necesario recordar todo el detalle de la estructura. Aquí, las estructuras anatómicas esenciales son seleccionadas por neuroimagen y es necesaria la comprensión de las enfermedades del SNC fetal. Las Figuras 2.13 y 2.14 muestran la anatomía básica del cerebro para neuroimagen fetal y la Figura 2.15 es la imagen esquemática de la vía de flujo del líquido cefalorraquídeo (LCR).

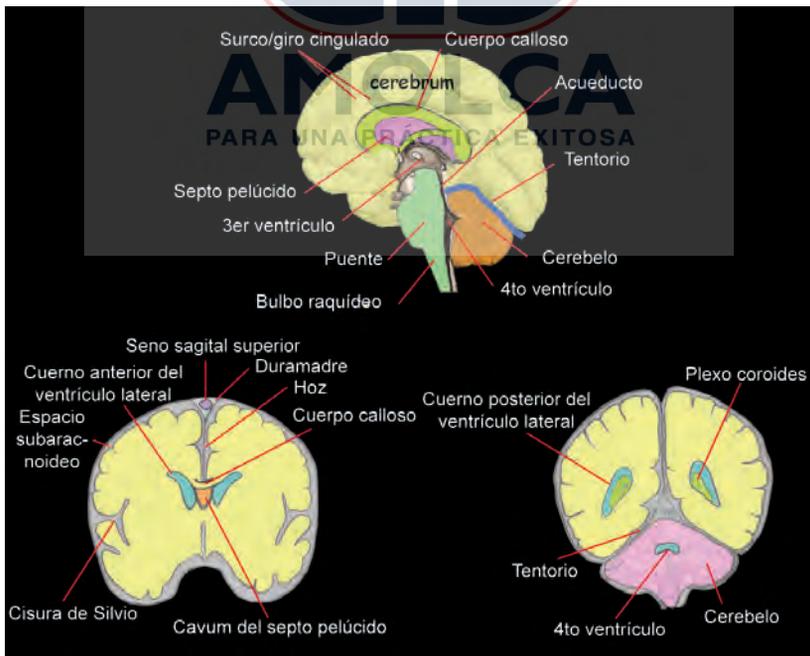


Figura 2.13: Anatomía básica del cerebro fetal (corte medio sagital y coronal). Corte medio sagital (superior), corte coronal anterior (inferior izquierda) y corte coronal posterior (inferior derecha).

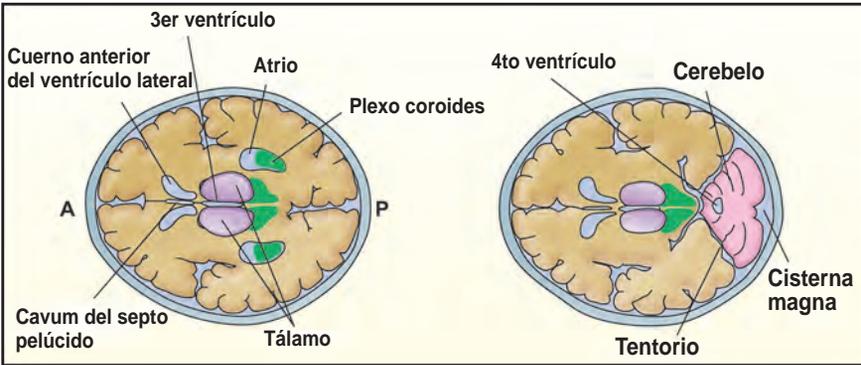


Figura 2.14: Anatomía básica del cerebro fetal (cortes axial y axial coronal) y medida del ancho del atrio. Para medir el atrio de los ventrículos laterales, los cálipers son colocados correctamente tocando el borde interno de la pared del ventrículo en su parte más amplia y alineados perpendicular al eje longitudinal del ventrículo.

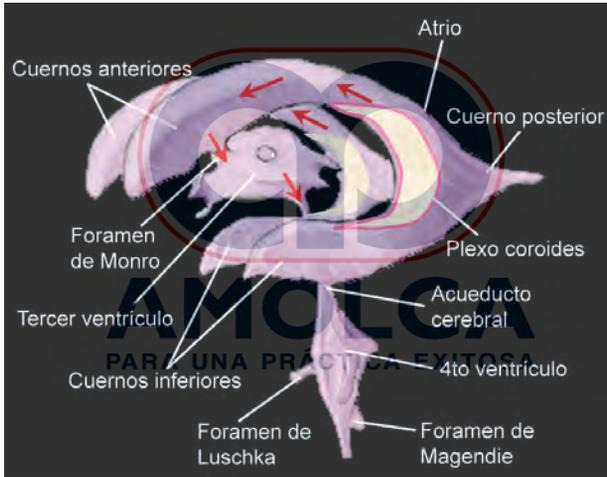


Figura 2.15: Anatomía básica del sistema ventricular y patrón de flujo del LCR. El líquido cefalorraquídeo (LCR), producido en el plexo corooides de los ventrículos, circula desde los ventrículos laterales al tercer ventrículo a través del foramen de Monro, al cuarto ventrículo a través del acueducto y hacia la superficie del cerebro y la médula espinal a través de los forámenes de Luschka y Magendie.

## Exploración por ecografía y biometría en el examen básico del SNC

La sonografía transabdominal es la técnica de elección para investigar el CNS fetal durante el primero, segundo y tercer trimestres tardíos de gestación en embarazos de bajo riesgo.<sup>10</sup> Las estructuras cerebrales son visualizadas en el plano transtentorial y transcerebelar. El plano transtalámico frecuentemente es más utilizado para el propósito de la biometría.<sup>10</sup> Las estructuras que usualmente son observadas en un examen básico de ultrasonido del SNC fetal son:

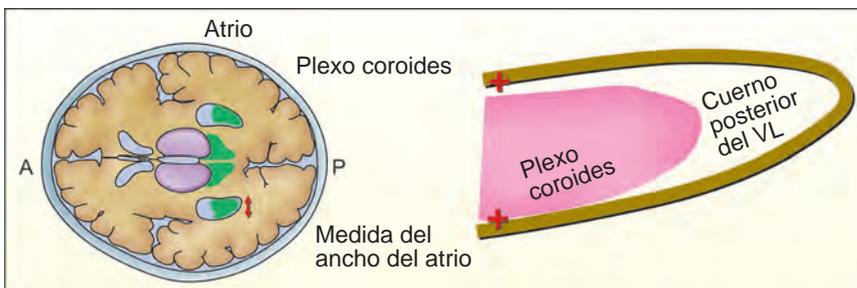
- Forma de la cabeza
- Ventriculos laterales
- Cavum del septo pelúcido
- Tálamo
- Cerebelo
- Cisterna magna
- Columna

*Evaluación cuantitativa (biometría);*

- Diámetro biparietal (DBP)
- Circunferencia cefálica (CC)
- Ancho del atrio del ventrículo
- Diámetro transverso del cerebelo (DTC)

El DBP y la CC, comúnmente utilizados para la evaluación del crecimiento fetal y/o la edad gestacional, pueden ser medidos en el plano transventricular y en el plano transtalámico.<sup>10</sup> Diferentes técnicas pueden ser utilizadas para medir el diámetro biparietal. Más frecuentemente los calipers son colocados fuera del cráneo fetal (desde afuera hasta afuera),<sup>19</sup> pero algunas tablas utilizan las medidas desde afuera hasta adentro. La CC puede ser calculada mediante la ecuación  $CC = 1,62 \times (DBP + DFO)$ .

La evaluación del tamaño ventricular generalmente es hecha mediante la medición del ancho del atrio (**Figura 2.16**). Fue sugerido que para la medición del atrio de los ventriculos laterales, los calipers estén correctamente colocados tocando el borde interno de la pared del ventrículo en su parte más ancha y alineado perpendicular al eje longitudinal del ventrículo.<sup>10</sup> La medición es estable en el segundo trimestre y temprano en el tercer trimestre, con un diámetro promedio de 6 a 8 mm y es considerado normal cuando es menor a 10 mm.<sup>20-25</sup> Particularmente en la mitad de la gestación, un valor de 10,0 mm o más debe ser considerado sospechoso.<sup>10</sup>



**Figura 2.16: Medida del ancho del atrio.** Para la medida del atrio de los ventriculos laterales, los calipers son colocados correctamente tocando el borde interno de la pared del ventrículo en su parte más amplia y son alineados perpendicularmente con el eje longitudinal del ventrículo.

El diámetro transverso del cerebelo aumenta cerca de un milímetro por semana de embarazo entre la 14<sup>a</sup> y 21<sup>a</sup> semanas menstruales. Esta medida junto con la circunferencia cefálica y el diámetro biparietal es de ayuda para evaluar el crecimiento fetal.

### Evaluación del SNC fetal por sonografía transvaginal 3D

El ultrasonido tridimensional (3D) es una de las modalidades más atractivas en el campo de la imagen de ultrasonido fetal. Hay dos métodos de ecografía: la técnica a mano libre y la técnica automática. La ecografía automática mediante un transductor 3D dedicado produce un barrido automático dirigido por motor y es llamada ecografía en abanico. Con este método, un cambio del transductor y/o del ángulo del transductor no es necesario durante la ecografía y la duración de la misma necesita sólo varios segundos. Después de la adquisición del órgano blanco, un análisis de las imágenes multiplanares y de las imágenes tomográficas es posible. La combinación de la sonografía transvaginal y del ultrasonido 3D<sup>11-17</sup> puede ser una gran herramienta diagnóstica para la evaluación de estructuras tridimensionales del SNC fetal. Recientemente, los equipos de ultrasonido 3D avanzados tienen varias funciones útiles como las siguientes:<sup>18</sup>

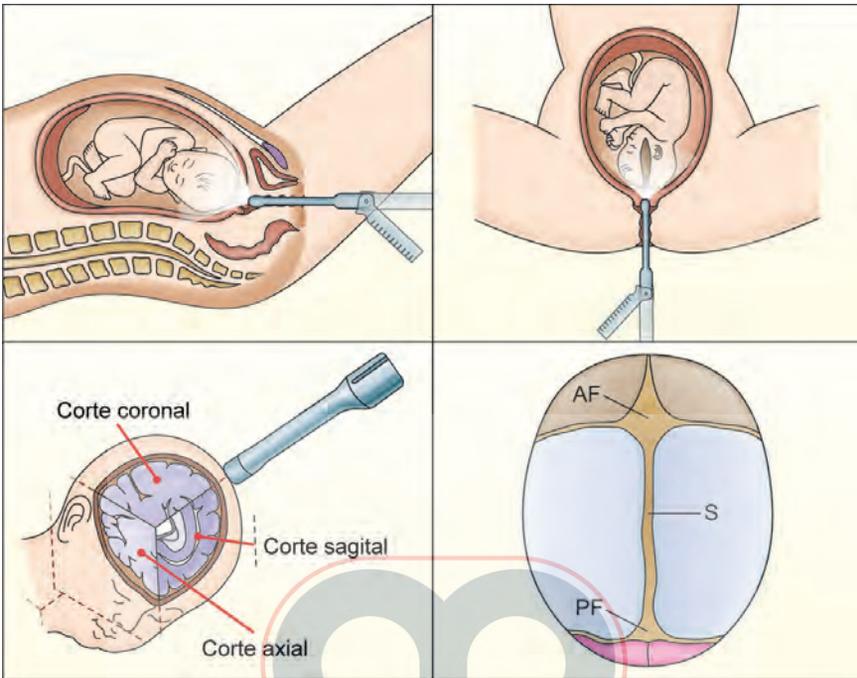
- Imágenes de la superficie anatómica del cerebro, anomalías faciales y de expresión, fuertemente relacionadas con el desarrollo del cerebro.
- Imágenes de estructuras óseas del cráneo y vértebras.
- Imágenes multiplanares de las estructuras intracraneales.
- Imágenes de ultrasonido tomográfico del cerebro fetal en cualquier corte.
- Imágenes de cortes gruesos de las estructuras intracraneales.
- Volumen de contraste de imagen simultáneo del mismo corte o corte vertical de las estructuras del cerebro fetal.
- Cálculo de volumen de los órganos blanco tal como la cavidad intracraneal, el ventrículo, el plexo coroideo y las lesiones intracraneales.
- Sonoangiografía tridimensional de la circulación del cerebro (Doppler 3D de potencia o Doppler 3D color).

Es bien conocido que los ultrasonidos 3D demuestran la superficie anatómica. En caso de anomalías del SNC, anomalías faciales y extremidades anómalas son frecuentemente complicadas. Por lo tanto, las imágenes reconstruidas de la superficie son de ayuda. Las imágenes de estructuras óseas del cráneo y vértebras (**véanse Figuras 2.3 y 2.5**) son útiles en casos de craneosinostosis y espina bífida. El nivel vertebral de la espina bífida puede proporcionar información importante para las perspectivas de déficits neurológicos postnatales. En imágenes multiplanares de estructuras del cerebro, es posible de-

mostrar no sólo los cortes sagitales y coronales, sino también el corte axial del cerebro, el cual no puede ser demostrado mediante el abordaje transfontanela con una sonografía transvaginal 2D convencional. El ultrasonido 3D transvaginal es la primera modalidad durante el primer trimestre y temprano en el segundo trimestre. En el segundo y tercer trimestres tardíos, las imágenes de resonancia magnética (IRM) son ocasionalmente utilizadas como una herramienta de diagnóstico prenatal. Durante el segundo trimestre, la sonografía transvaginal 3D puede demostrar estructuras más detalladas del cerebro fetal que la IRM. Sin embargo, en el embarazo tardío, la IRM puede compensar adecuadamente para la detección en el cerebro completo de alguna parte que no pueda cubrir el ultrasonido transvaginal 3D debido al desarrollo del cráneo, a limitaciones por el ángulo del ecosonógrafo y por sombra acústica debida a osificación de los huesos craneales.<sup>26</sup>

Los cortes paralelos proporcionan una visualización tomográfica de la morfología interna similar a la imagen de resonancia magnética. Los cortes paralelos utilizados se obtienen trasladando los planos de corte, sin embargo, la tecnología avanzada reciente puede producir imágenes de ultrasonido tomográficas y mostrar una serie de cortes paralelos en una pantalla tan bien como lo hace la IRM. Como se muestra en las **Figuras 2.6, 2.9 y 2.10**, las imágenes obtenidas por ultrasonido tomográfico son bastante similares a las imágenes de resonancia magnética. El punto superior de las imágenes de ultrasonido tomográficas en relación a la IRM es que es fácilmente posible cambiar el ancho del corte, rotar las imágenes, agrandar las imágenes y rotar las imágenes en cualquier dirección. Esta función es extremadamente útil para la evaluación detallada del SNC y también para la consulta con neurocirujanos y neurólogos. Las imágenes de corte grueso de las estructuras intracraneales y el volumen de contraste de imagen (VCI) simultáneo del mismo plano o del plano vertical de imágenes 2D convencionales son frecuentemente convenientes para observar la formación de los giros y por dentro de los ventrículos laterales.<sup>27</sup> La imagen del cerebro prematuro obtenida mediante el uso de VCI claramente demuestra la estructura anatómica del SNC.

La imagen del volumen de extracto y el cálculo de volumen del cerebro fetal en el embarazo temprano fue reportado en los años 1990.<sup>28,29</sup> Los autores han utilizado el volumen de extracción y la estimación de volumen de las estructuras del cerebro.<sup>30-32</sup> El órgano blanco puede ser trazado automática o manualmente sobre las imágenes de los tres planos ortogonales con rotación de los datos de volumen de imagen. Después del trazado, la imagen del volumen de extracto es demostrada y los datos de cálculo de volumen son mostrados. Las medidas del volumen del cerebro fetal 3D tienen una gran responsabilidad intraobservador e interobservador<sup>33,34</sup> y pueden ser utilizadas para determinar la edad gestacional estimada.<sup>33</sup> El análisis de volumen mediante



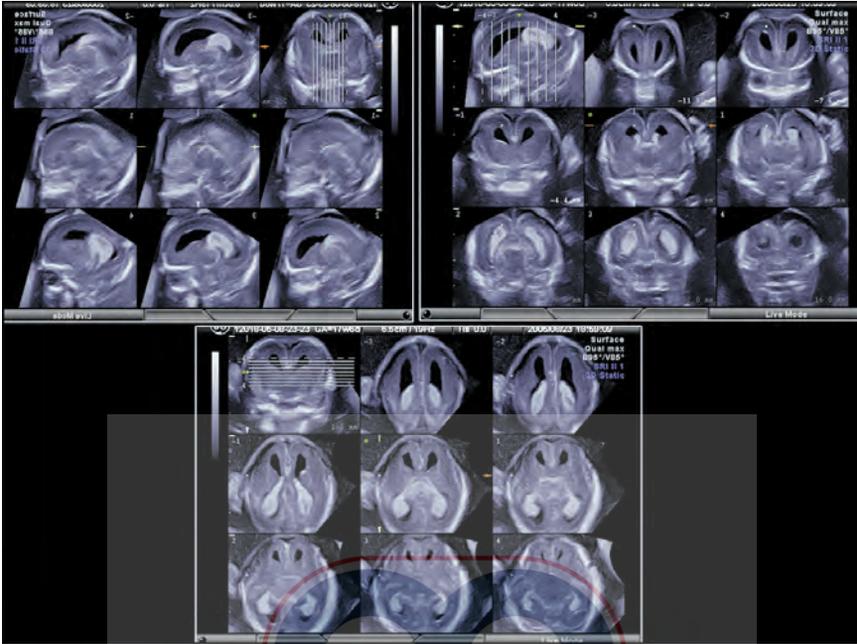
**Figura 2.17: Escáner de ultrasonido transvaginal.** (Superior izquierdo) vista lateral del vértice de la presentación del feto y transductor transvaginal. (Superior derecho) vista frontal. Se pueden obtener imágenes sagitales y coronales claras mediante la rotación y cambio de ángulo del transductor y la imagen axial puede ser obtenida mediante el uso de un escáner transvaginal 3D (inferior izquierda). La figura inferior derecha es una imagen esquemática del cráneo fetal. El escáner transvaginal es realizado a través de la fontanela anterior (AF), sutura sagital (S) y fontanela posterior (PF) como ventanas para el ultrasonido

PARA UNA PRÁCTICA EXITOSA

ultrasonido 3D proporciona datos de imágenes extremadamente informativos, una evaluación inteligible de la estructura cerebral en total y una evaluación longitudinal y objetiva de los ventrículos alargados y las lesiones ocupantes intracraneales. Cualquier órgano intracraneal puede ser elegido como un blanco para volumetría sin importar cuán distorsionada pueda ser su forma y apariencia.

La circulación del cerebro demostrada mediante Doppler transvaginal 2D de potencia fue reportada por primera vez en 1996.<sup>35</sup> A partir de entonces, la evaluación con Doppler transvaginal 3D de potencia de la vascularidad del cerebro fetal fue exitosa.<sup>36</sup> Las imágenes angioestructurales 3D recientes además se han vuelto sofisticadas (véase Capítulo 3) (Figura 2.17).

La neuroimagen con tecnología 3D avanzada es fácil, no invasiva y de método reproducible. Este no sólo produce datos de imágenes comprensibles sino también objetivas. El fácil almacenamiento y extracción de datos de volumen crudo permite un sencillo análisis sin conexión y consulta a neurólogos y neurocirujanos.



**Figura 2.18:** Cerebro normal a las 17 semanas. Imágenes de ultrasonido tomográfico de cortes sagital (superior izquierda), coronal (superior derecha) y axial (inferior). El plexo coroideo (parte ecogénica) cambia su posición a la mitad posterior de los ventrículos laterales.

## Visualización normal del cerebro fetal

Las Figuras 2.18 a la 2.21 muestran las imágenes de ultrasonido tomográfico del cerebro normal entre la 17ª y 31ª semanas de gestación. La apariencia prematura del cerebro con una superficie lisa en el segundo trimestre temprano crece gradualmente hasta el cerebro maduro con formación de los giros en el tercer trimestre. La Figura 2.22 muestra la vista sagital media en la cual el cuerpo calloso, el cavum del septo pelúcido, el cerebelo y el IV ventrículo son visualizados claramente. El cuerpo calloso puede ser detectado desde la semana 16ª de gestación y detectable en todos los casos en la semana 18ª de gestación.

Uno de los puntos de referencia para evaluar el crecimiento y el desarrollo del cerebro es la cisura de Silvio. La cisura de Silvio es visualizada en el corte coronal. La Figura 2.23 es la serie de imágenes de resonancia magnética coronales de fetos nacidos entre las semanas 15ª y 28ª de gestación.<sup>37</sup> La cisura de Silvio es una indentación leve con superficie lisa antes de la semana 21ª. Sin embargo, desde la semana 23ª de gestación gradualmente se convierte en un surco profundo y se desarrolla hacia el surco lateral al final del segundo trimestre o al comienzo del tercer trimestre. La Figura 2.24 es la apariencia cambiante

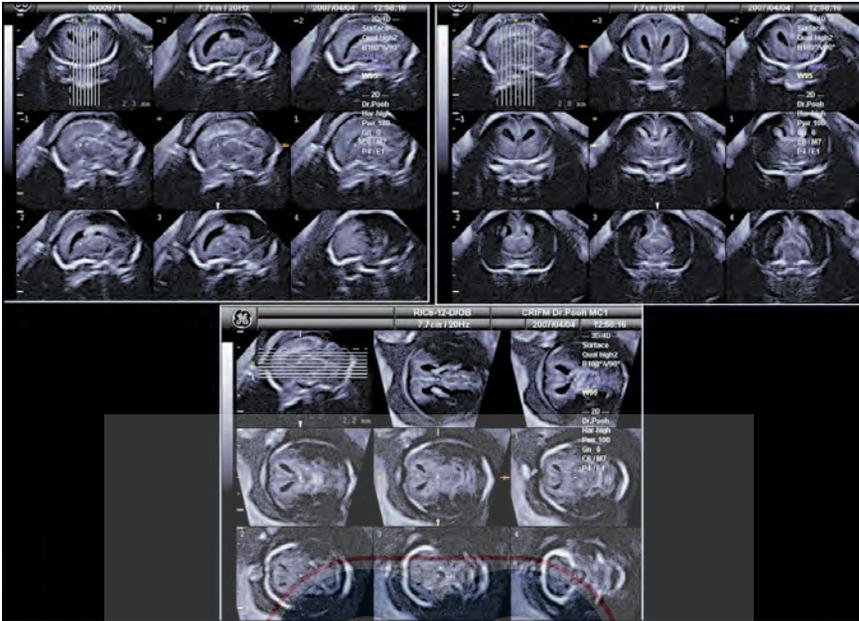


Figura 2.19: Cerebro normal a las 20 semanas. Imágenes de ultrasonido tomográfico de cortes sagital (superior izquierda), coronal (superior derecha) y axial (inferior).

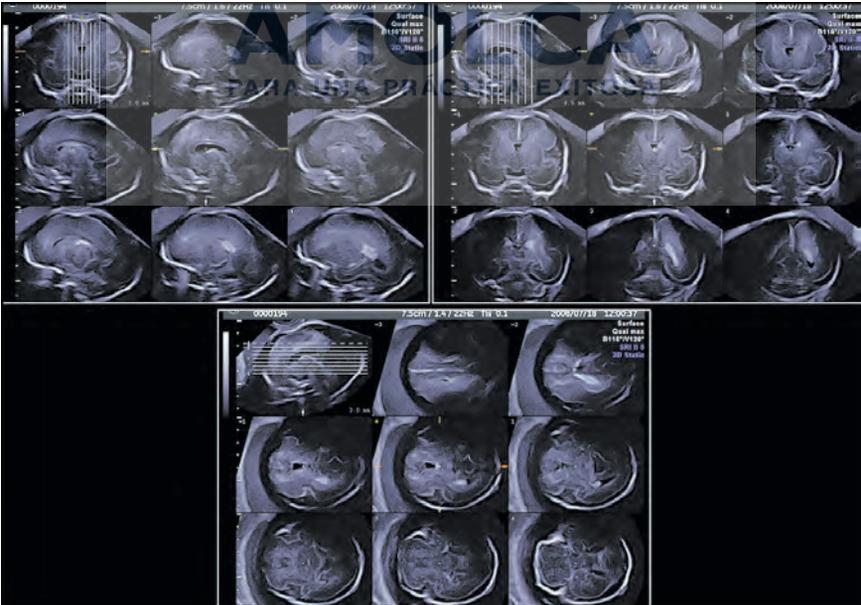


Figura 2.20: Cerebro normal a las 25 semanas. Imágenes de ultrasonido tomográfico de cortes sagital (superior izquierda), coronal (superior derecha) y axial (inferior).

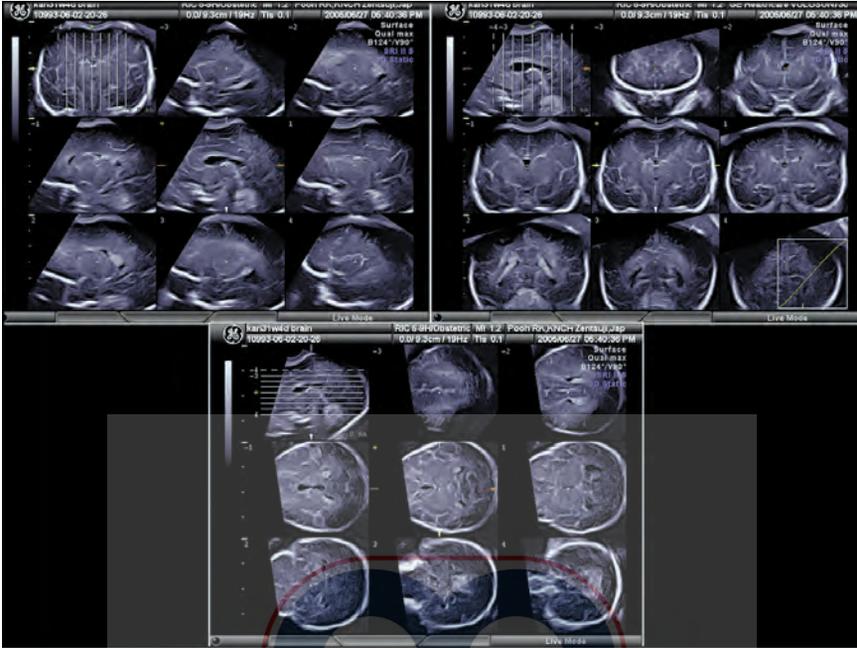


Figura 2.21: Cerebro normal a las 31 semanas. Imágenes de ultrasonido tomográfico de cortes sagital (superior izquierda), coronal (superior derecha) y axial (inferior). La formación del surco y giro se observa claramente desde aproximadamente la 30a semana de gestación. La cisura de Silvio (flechas) es formada como un surco lateral.

**AMOLCA**  
PARA UNA PRÁCTICA EXITOSA

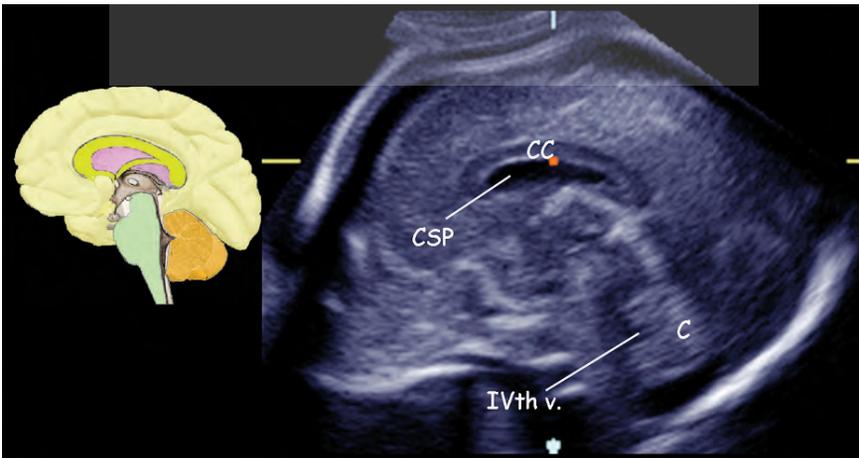
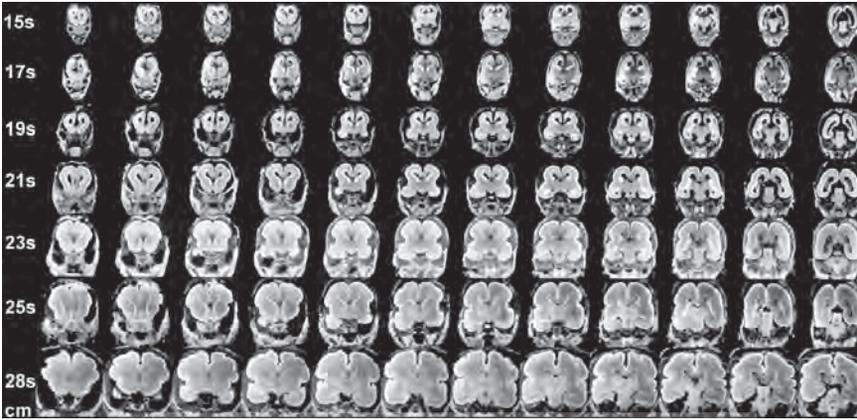
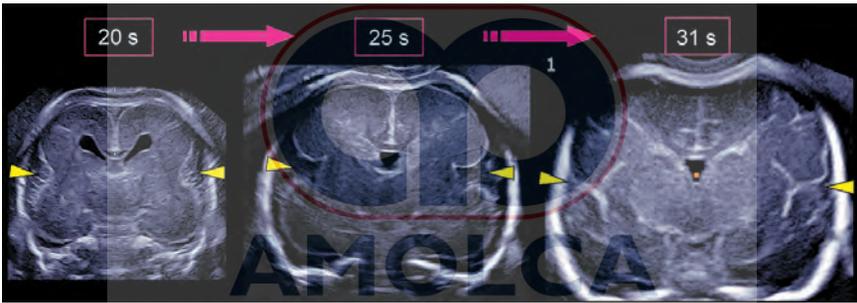


Figura 2.22: Vista sagital media de un cerebro normal a las 22 semanas. El cuerpo calloso (CC), el cavum del septo pelúcido (CSP), el cerebelo (c) y el 4to ventrículo (IVth v.) son visualizados claramente en el corte sagital medio.



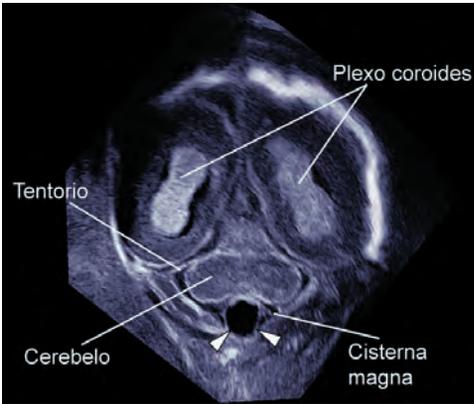
**Figura 2.23:** Imágenes coronales seriadas de resonancia magnética de fetos nacidos entre la 15ª y 28ª semana de gestación. Observe los cambios del ventrículo lateral desde el tipo fetal con aspecto vesicular y forma bicornuda al tipo adulto (imagen por cortesía del Dr. Kinoshita de Clinical Imagiology 17:1392, 2001).



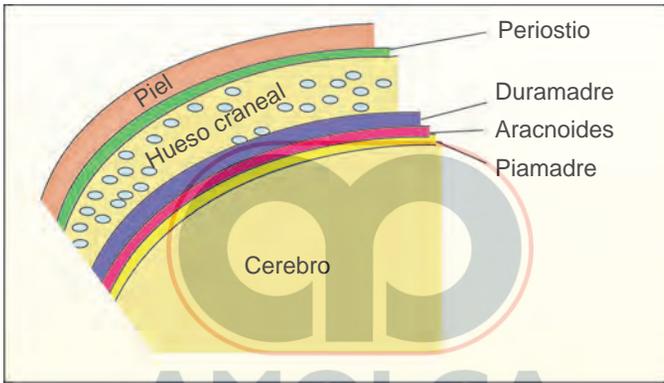
**Figura 2.24:** Cambio de la apariencia de la cisura de Silvio. A las 20 semanas de gestación, las cisuras de Silvio bilaterales (puntas de flecha) aparecen como indentaciones (izquierda). Con el desarrollo cortical, las cisuras de Silvio están formadas (medio) y se vuelven como surcos laterales. La apariencia de la cisura de Silvio es uno de los marcadores más confiables de desarrollo cortical.

de la cisura de Silvio por ultrasonido en la semana 20ª, 25ª y 31ª de gestación. La cisura de Silvio es uno de los indicadores más fiables para evaluar el desarrollo cortical.

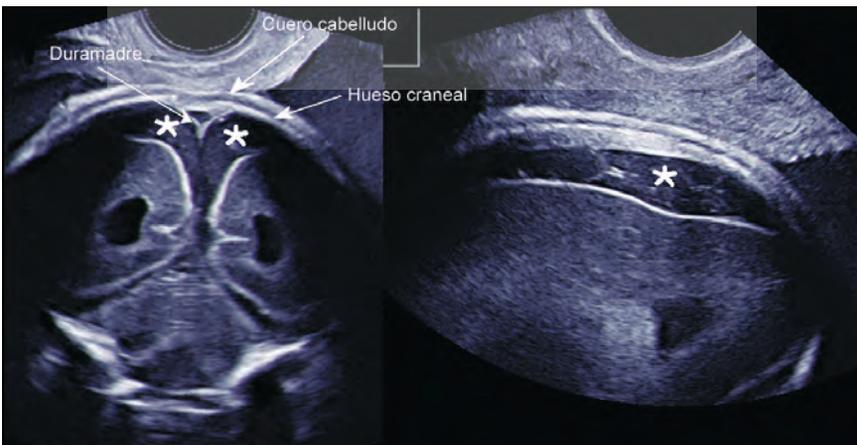
El septo en la cisterna magna (**Figura 2.25**) frecuentemente es detectable en el segundo y tercer trimestres. En las etapas tempranas de la embriología, el techo inferior de la vesícula romboencefálica se evagina caudal al desarrollo del vermis cerebelar dentro de la meninge primitiva como un divertículo ependimario,<sup>38</sup> el cual se expande dorsalmente para formar la bolsa de Blake<sup>39</sup> y el septo de la cisterna magna representa el remanente de las paredes de la bolsa de Blake y por lo tanto el septo de la cisterna magna es un marcador del desarrollo normal del techo del romboencéfalo.<sup>40</sup>



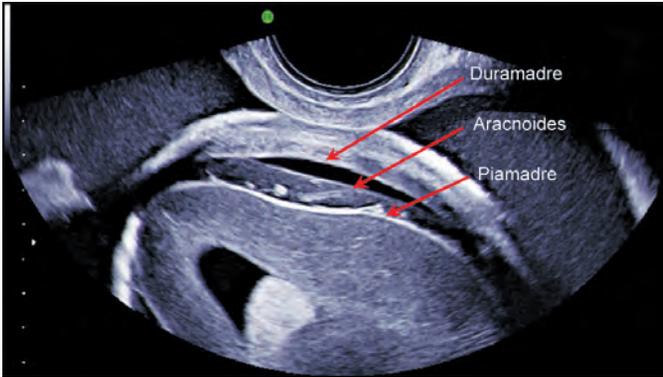
**Figura 2.25: Cisterna magna septa (puntas de flecha) a las 20 semanas de gestación.** Corte axial-coronal del cerebro. La cisterna magna septa es detectable en el segundo y tercer trimestre como un marcador de desarrollo normal del techo del romboencéfalo.



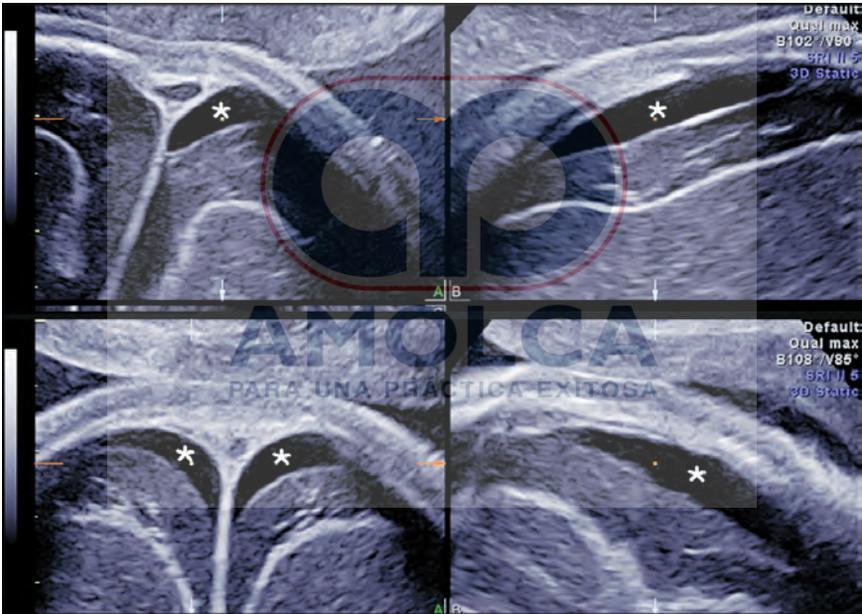
**Figura 2.26: Imagen esquemática del cráneo y meninges del cerebro.** Las meninges contienen la duramadre, aracnoides y piamadre. «Epidural» es entre el hueso craneal y la duramadre. «Subdural» es entre la duramadre y la aracnoides. «Subaracnoideo» es entre la aracnoides y la piamadre.



**Figura 2.27: Espacio subaracnoideo en un cerebro normal de 25 semanas.** (Izquierda) Imagen coronal posterior. Los asteriscos indican el espacio subaracnoideo. (Derecha) Imagen parasagital. El espacio subaracnoideo es fácilmente detectable por cortes coronales y parasagitales alrededor del cerebro bilateral en todos los fetos.



**Figura 2.28: Espacio subdural en un cerebro normal de 23 semanas.** Imagen parasagital mediante transductor transvaginal de alta frecuencia. El espacio subdural es visto entre la duramadre y la aracnoides. Estos hallazgos parecen ser una variante normal.



**Figura 2.29: Espacio subdural en el cerebro normal.** La imagen superior izquierda muestra la colección de fluido subdural unilateral (asterisco) en la vista coronal de un cerebro normal de 27 semanas. La imagen superior derecha es la vista parasagital. La imagen inferior izquierda muestra la colección de fluido subdural bilateral (asteriscos) en la vista coronal de un cerebro normal de 23 semanas. La imagen inferior derecha es la vista parasagital.

Las meninges del sistema nervioso central contienen la duramadre, aracnoides y piamadre (**Figura 2.26**). El término «epidural» significa entre el hueso del cráneo y la duramadre, «subdural» entre la aracnoides y la piamadre. En el período fetal, el espacio subaracnoideo es ampliamente demostrado en los cortes coronal y parasagital, como se muestra en la **Figura 2.27**. Dentro del espacio subaracnoideo, numero-

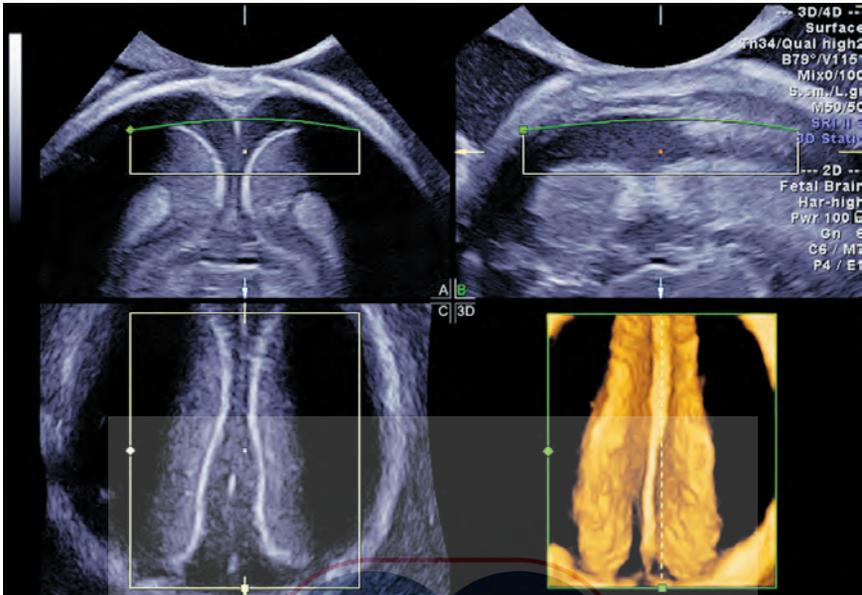


Figura 2.30: Hoz del cerebro en un feto normal de 20 semanas. Vista ortogonal en tres planos e imagen 3D reconstruida (inferior derecha) de la hoz del cerebro.

Los vasos sanguíneos son observados mediante sonografía transvaginal de alta frecuencia. La reciente sonografía transvaginal sofisticada con transductor de alta frecuencia demuestra la colección de líquido subdural como un área translúcida en el embarazo normal (Figura 2.28). El espacio subdural es observado unilateral y bilateralmente (Figura 2.29). La Figura 2.30 muestra la hoz del cerebro, compuesta por duramadre y localizada entre los hemisferios laterales.

## Bibliografía

1. Timor-Tritsch IE, Peisner DB, Raju S. Sonoembryology: an organ-oriented approach using a high-frequency vaginal probe. *J Clin Ultrasound* 1990; 18(4):286-98.
2. Benoit B, Hafner T, Kurjak A, Kupesic S, Bekavac I, Bozek T. Three-dimensional sonoembryology. *J Perinat Med* 2002;30(1):63-73.
3. Kurjak A, Pooh RK, Merce LT, Carrera JM, Salihagic-Kadic A, Andonotopo W. Structural and functional early human development assessed by three-dimensional and four-dimensional sonography. *Fertil Steril* 2005;84(5):1285-99.
4. Chaoui R, Levailant JM, Benoit B, Faro C, Wegrzyn P, Nicolaidis KH. Three-dimensional sonographic description of abnormal metopic suture in second- and third-trimester fetuses. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005;26:761-4.
5. Pooh RK. B-mode and Doppler studies of the abnormal fetus in the first trimester. In Chervenak FA, Kurjak A (Eds). *Fetal medicine*. Parthenon Publishing, Carnforth 1999;46-51.

6. Timor-Tritsch IE, Monteagudo A. Transvaginal fetal neurosonography: standardization of the planes and sections by anatomic landmarks. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1996;8:42-7.
7. Monteagudo A, Reuss ML, Timor-Tritsch IE. Imaging the fetal brain in the second and third trimesters using transvaginal sonography. *Obstet Gynecol* 1991;77:27-32.
8. Monteagudo A, Timor-Tritsch IE, Moomjy M. In utero detection of ventriculomegaly during the second and third trimesters by transvaginal sonography. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1994;4:193-8.
9. Kinoshita Y, Okudera T, Tsuru E, Yokota A. Volumetric analysis of the germinal matrix and lateral ventricles performed using MR images of postmortem fetuses. *AJNR* 2001;22:382-88.
10. Sonographic examination of the fetal central nervous system: guidelines for performing the 'basic examination' and the 'fetal neurosonogram'. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2007;29:109-16.
11. Monteagudo A, Timor-Tritsch IE. Development of fetal gyri, sulci and fissures: a transvaginal sonographic study. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1997;9:222-8.
12. Pooh RK, Nakagawa Y, Nagamachi N, Pooh KH, Nakagawa Y, Maeda K, et al. Transvaginal sonography of the fetal brain: detection of abnormal morphology and circulation. *Croat Med J* 1998;39:147-57.
13. Pooh RK, Maeda K, Pooh KH, Kurjak A. Sonographic assessment of the fetal brain morphology. *Prenat Neonat Med* 1999;4:18-38.
14. Pooh RK. Three-dimensional ultrasound of the fetal brain. In Kurjak A (Ed): *Clinical application of 3D Ultrasonography*. Parthenon Publishing, Carnforth 2000;176-80.
15. Pooh RK, Pooh KH, Nakagawa Y, Nishida S, Ohno Y. Clinical application of three-dimensional ultrasound in fetal brain assessment. *Croat Med J* 2000;41:245-51.
16. Timor-Tritsch IE, Monteagudo A, Mayberry P. Three-dimensional ultrasound evaluation of the fetal brain: the three horn view. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000;16:302-6.
17. Monteagudo A, Timor-Tritsch IE, Mayberry P. Three-dimensional transvaginal neurosonography of the fetal brain: 'navigating' in the volume scan. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000;16:307-13.
18. Pooh RK, Maeda K, Pooh KH. *An Atlas of Fetal Central Nervous System Disease. Diagnosis and Management*. Parthenon CRC Press, London, New York 2003.
19. Snijders RJ, Nicolaides KH. Fetal biometry at 14-40 weeks' gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1994;4:34-48.
20. Pilu G, Falco P, Gabrielli S, Perolo A, Sandri F, Bovicelli L. The clinical significance of fetal isolated cerebral borderline ventriculomegaly: report of 31 cases and review of the literature. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1999;14:320-26.
21. Kelly EN, Allen VM, Seaward G, Windrim R, Ryan G. Mild ventriculomegaly in the fetus, natural history, associated findings and outcome of isolated mild ventriculomegaly: a literature review. *Prenat Diagn* 2001;21:697-700.
22. Wax JR, Bookman L, Cartin A, Pinette MG, Blackstone J. Mild fetal cerebral ventriculomegaly: diagnosis, clinical associations, and outcomes. *Obstet Gynecol Surv* 2003;58:407-14.
23. Laskin MD, Kingdom J, Toi A, Chitayat D, Ohlsson A. Perinatal and neurodevelopmental outcome with isolated fetal ventriculomegaly: a systematic review. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2005;18:289-98.

24. Achiron R, Schimmel M, Achiron A, Mashiach S. Fetal mild idiopathic lateral ventriculomegaly: is there a correlation with fetal trisomy? *Ultrasound Obstet Gynecol* 1993;3:89-92.
25. Gaglioti P, Danelon D, Bontempo S, Mombro M, Cardaropoli S, Todros T. Fetal cerebral ventriculomegaly: outcome in 176 cases. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005;25:372-77.
26. Pooh RK, Nagao Y, Pooh KH. Fetal neuroimaging by transvaginal 3D ultrasound and MRI. *Ultrasound Rev Obstet Gynecol* 2006;6:123-34.
27. Pooh RK, Pooh KH. Fetal neuroimaging with new technology. *Ultrasound Review Obstet Gynecol* 2002;2:178-81.
28. Blaas HG, Eik-Nes SH, Kiserud T, Berg S, Angelsen B, Olstad B. Three-dimensional imaging of the brain cavities in human embryos. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1995;5:228-32.
29. Blaas HG, Eik-Nes SH, Berg S, Torp H. In-vivo three-dimensional ultrasound reconstructions of embryos and early fetuses. *Lancet* 1998;352:1182-6.
30. Pooh RK. Fetal brain assessment by three-dimensional ultrasound. In Kurjak A, Kupesic S (Eds): *Clinical Application Of 3D Sonography*. Carnforth, UK: Parthenon Publishing 2000;171-79.
31. Pooh RK, Pooh KH. Transvaginal 3D and Doppler ultrasonography of the fetal brain. *Semin Perinatol* 2001;25:38-43.
32. Pooh RK, Pooh KH. The assessment of fetal brain morphology and circulation by transvaginal 3D sonography and power Doppler. *J Perinat Med* 2002;30:48-56.
33. Endres LK, Cohen L. Reliability and validity of three-dimensional fetal brain volumes. *J Ultrasound Med* 2001;20:1265-9.
34. Roelfsema NM, Hop WC, Boito SM, Wladimiroff JW. Three-dimensional sonographic measurement of normal fetal brain volume during the second half of pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 2004;190:275-80.
35. Pooh RK, Aono T. Transvaginal power Doppler angiography of the fetal brain. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1996;8:417-21.
36. Pooh RK. Two-dimensional and three-dimensional Doppler angiography in fetal brain circulation. In Kurjak A (Ed) *3D Power Doppler in Obstetrics and Gynecology*. Parthenon Publishing: Carnforth 1999;105-11.
37. Kinoshita Y, Okudera T, Tsuru E, Yokota A. *Clinical Imagiology* 2001;17:1392.
38. Strand RD, Barnes PD, Poussaint TY, Estroff JA, Burrows PE. Cystic retrocerebellar malformations: unification of the Dandy-Walker complex and the Blake's pouch. *Pediatr Radiol* 1993;23:258-60.
39. Blake JA. The roof and lateral recesses of the fourth ventricle considered morphologically and embryologically. *J Comp Neurol* 1900;10:79-108.
40. Robinson AJ, Goldstein R. The cisterna magna septa: vestigial remnants of Blake's pouch and a potential new marker for normal development of the rhombencephalon. *J Ultrasound Med* 2007;26:83-95.