

HEMODIÁLISIS PEDIÁTRICA

Ángel Alonso Melgar⁽¹⁾, Julia Fijo López-Viota⁽²⁾

⁽¹⁾Servicio de Nefrología Pediátrica. Hospital Infantil Universitario La Paz. Madrid.

⁽²⁾Sección de Nefrología Pediátrica. Hospital Infantil Universitario Virgen del Rocío. Sevilla.

Alonso Melgar A, Fijo López-Viota J. Hemodiálisis pediátrica. *Protoc diagn ter pediatri*. 2014;1:403-20.



RESUMEN

La hemodiálisis es un tratamiento de reemplazo imprescindible en un porcentaje variable de niños con enfermedad renal terminal. Las nuevas modalidades de tratamiento han mejorado sustancialmente el estado de salud de estos pacientes pero, pese a que la hemodiálisis domiciliaria y las nuevas unidades infantiles hospitalarias con dotación social y escolar mitigan en alguna medida las pérdidas de calidad de vida y las limitaciones sociales, hay que tener en cuenta que la hemodiálisis infantil debe ser siempre un estadio puente hacia el trasplante renal. La hemodiálisis pediátrica es un tratamiento altamente especializado y debe llevarse a cabo en unidades con dotaciones específicas y siempre en un hospital pediátrico bajo la supervisión de un nefrólogo pediatra.

1. INTRODUCCIÓN Y DATOS DEMOGRÁFICOS

La hemodiálisis (HD) es una alternativa indispensable para el tratamiento de la enfermedad renal crónica avanzada en niños. Pese a que la mejor opción terapéutica es el trasplante renal, tan solo un 30% de los pacientes incidentes lo reciben como primera modalidad de tratamiento sustitutivo y si bien la diálisis peritoneal, especialmente en lactantes, es la segunda opción terapéutica en España y en Europa, los datos del registro ERA-EDTA

muestran que más de un 13% de los niños europeos (8,8% de los españoles) menores de 14 años en tratamiento sustitutivo recibe tratamiento con hemodiálisis hospitalaria.

El trasplante renal es la única modalidad de tratamiento sustitutivo que rehabilita totalmente al niño con enfermedad renal terminal. Tradicionalmente, la hemodiálisis hospitalaria en niños y adolescentes se ha asociado por una parte con problemas físicos, tales como alteraciones de crecimiento, nutrición y desa-

rollo, alteraciones óseas y vasculares y por otra de calidad de vida: procedimientos invasivos, hospitalizaciones, separación de los padres y de su ambiente familiar, limitaciones escolares, sensación de pérdida de la independencia y de la identidad e integridad corporal, así como, disminución en participación en actividades recreativas y asunción de responsabilidades. Las nuevas modalidades de tratamiento con hemodiálisis han acabado prácticamente con los problemas físicos, mientras que tan solo la hemodiálisis domiciliaria y las nuevas unidades infantiles hospitalarias con dotación social y escolar mitigan en alguna medida las de calidad de vida y limitaciones sociales.

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE DIÁLISIS Y SU APLICACIÓN A LOS PACIENTES PEDIÁTRICOS

La diálisis es el proceso físico-químico mediante el cual se produce un intercambio molecular entre dos soluciones separadas por una membrana semipermeable. El comportamiento del agua, iones y otras moléculas a través de un sistema integrado por una membrana semipermeable, un compartimiento hemático y un baño de diálisis depende de dos diferentes propiedades: la **dializancia** o capacidad de difusión y la **ultrafiltración**. La primera depende a su vez de las características de la membrana [producto permeabilidad-área de superficie o K_{oA}] y se mide en ml/min. y la segunda de los gradientes de presiones hidráulicas y coloidosmóticas y de la permeabilidad hidráulica de la membrana empleada o coeficiente de ultrafiltración (K_{UF}). El transporte difusivo o difusión expresa el movimiento de solutos siguiendo un gradiente de concentración (por ejemplo, la

urea de la sangre al dializado). El transporte convectivo o convección, o simplemente ultrafiltración, expresa la cantidad de agua y solutos disueltos que pasan a través de una membrana, en este caso la membrana del dializador, provocado por un gradiente de presión (presión transmembrana).

En la hemodiálisis, la membrana del dializador permite el transporte bidireccional de agua y moléculas de pequeño y mediano peso molecular (menores de 50 000 Dalton), pero impide el paso de pequeñas proteínas como la albúmina (70 000 Dalton) o elementos formes. La práctica clínica ha hecho que diferenciamos dos modalidades de tratamiento en función de la preponderancia del fenómeno difusivo (hemodiálisis convencional) o convectivo (modalidades de hemodiafiltración y hemodiafiltración on line [HDFOL]).

El aclaramiento de un soluto (K_D) se expresa como la cantidad de sangre totalmente depurada del mismo en una unidad de tiempo (habitualmente ml/min) y depende del K_{oA} del dializador, del flujo sanguíneo (Q_B) y del flujo del baño de diálisis (Q_D). Este concepto es virtual puesto que lo que realmente apreciamos es la disminución de la concentración del soluto. Considerando al individuo con un volumen de distribución uniforme, la fracción del soluto que permanece en la sangre en un tiempo determinado la podemos averiguar mediante la siguiente fórmula:

$$C_t / C_i = e^{-Kt/V}$$

Donde C_t es la concentración del soluto en un tiempo t y C_i es la concentración inicial del mismo. Esta fórmula implica una tasa de desaparición del soluto de un modo logarítmico y

la eficacia de la diálisis puede ser hallada según la fórmula:

$$Kt/V = \ln [C_t/C_i]$$

Donde K es el aclaramiento de urea para el dializador (litros/h), t el tiempo de duración de la sesión de HD (h) y V el volumen de distribución de la urea (equivalente al volumen plasmático, en litros).

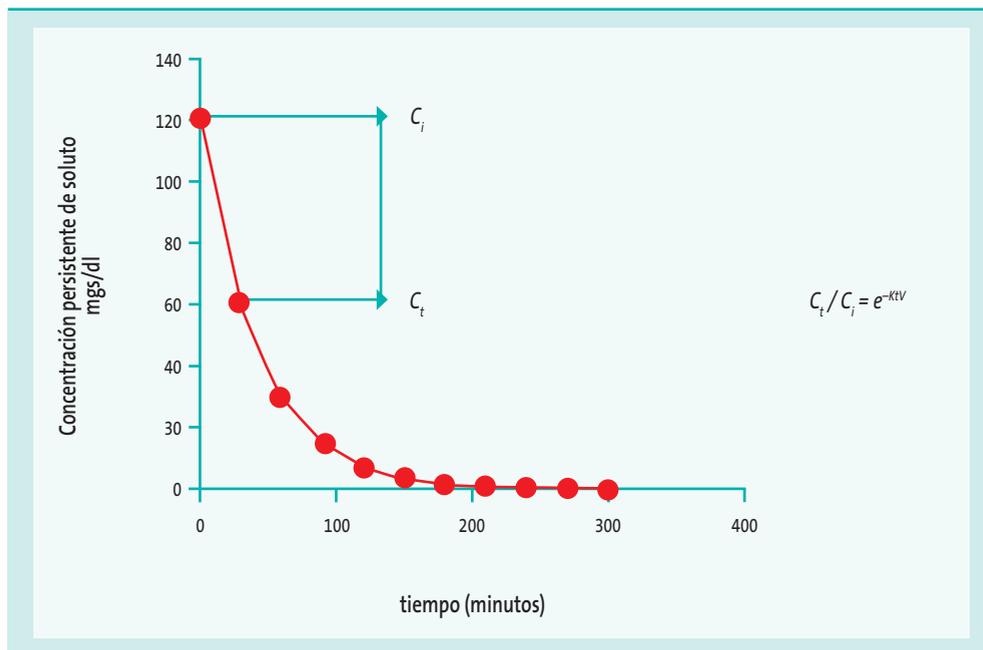
En la práctica clínica diaria Kt/V y dosis de diálisis tienen el mismo significado, volumen de plasma aclarado de urea respecto al volumen total de plasma del organismo, y un valor de 1 expresaría, en teoría, un aclaramiento de todo el volumen plasmático (diálisis perfecta). La

prescripción de HD se realiza sobre la base de criterios de Kt/V de urea (Figura 1), si bien, para el cálculo exacto del fenómeno depurativo hay que tener en cuenta el proceso convectivo o eliminación del soluto asociado a la ultrafiltración, así como, la existencia de una distribución no uniforme de solutos por lo que para el cálculo de la dosis de diálisis son necesarias fórmulas más complejas como veremos más adelante.

3. INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES DE LA HEMODIÁLISIS PEDIÁTRICA

El trasplante renal es el tratamiento óptimo para los niños con enfermedad renal termi-

Figura 1. Relación entre la concentración persistente de soluto y el tiempo durante una sesión de hemodiálisis. C_i representa la concentración inicial del soluto; C_t la concentración del soluto en un tiempo “t”; K el aclaramiento real; t el tiempo en minutos y V el volumen de distribución del soluto



nal, siendo la diálisis el tratamiento de mantenimiento que le permite la espera hasta recibir un órgano si sus condiciones clínicas y analíticas no permiten que continúe solo con tratamiento conservador. No hay estudios comparativos que hayan apoyado de forma absoluta la elección de uno u otro método de diálisis: diálisis peritoneal o hemodiálisis, contribuyendo a su elección múltiples factores (edad, localización geográfica, médicos, composición familiar, soporte social, cumplimiento del tratamiento, función residual...). En general, las limitaciones de la HD están relacionadas con la dificultad para la obtención de un acceso vascular o con la intolerancia a cambios rápidos del volumen plasmático, lo que es especialmente importante en lactantes o niños pequeños que deberán ser tratados preferentemente con diálisis peritoneal (**Tabla 1**).

Por otro lado, la HD se prefiere como técnica de depuración crónica en niños con malformaciones que afecten a la pared abdominal o requieran derivaciones intestinales o cirugía abdominal reiterada; también en procesos como hernias diafragmáticas congénitas o enfermedad pulmonar grave. Además, está indicada siempre que exista incapacidad difusiva o de ultrafiltración del peritoneo (**Tabla 2**).

4. ACCESOS VASCULARES EN NIÑOS

El éxito de un programa de hemodiálisis en niños depende de un acceso vascular adecuado. Actualmente, según datos del Registro Español Pediátrico de Insuficiencia Renal Terminal (REPIR-1: <http://www.aenp.es/>) el 92% de los niños en HD prolongada realizan su tratamiento a través de un catéter venoso central de doble luz (en neonatos y lactantes pequeños de una luz), tunelizado, con cuff subcutáneo y colocado preferentemente en la vena yugular interna derecha (por conseguirse mayor flujo sanguíneo que en la izquierda), con la punta situada en la unión cava-aurícula o en la aurícula derecha. Son preferibles los de silicona a los de poliuretano y los hay de distintos tamaños y diámetros para su uso según el tamaño del paciente (**Tabla 3**). La mayoría pueden permanecer colocados durante varios meses. En la elección del catéter como acceso vascular en la infancia influyen dos factores: el pequeño tamaño de los vasos, lo que favorece la trombosis de las fístulas arterio-venosas, y la oferta a corto plazo de un trasplante renal; ambos han determinado el abandono de dichas fístulas como acceso permanente en la población pediátrica española. La **Tabla 4** muestra la disponibilidad comercial de catéteres de hemodiálisis para niños de diferentes edades, tanto agudos (poliuretano) como crónicos (silicona o poliuretano modificado).

Tabla 1. Contraindicaciones de la hemodiálisis pediátrica

Contraindicaciones absolutas	Contraindicaciones relativas
Pacientes muy pequeños	Hipertensión mal controlada
Falta de acceso vascular	Cardiomiopatía hipertensiva
Contraindicaciones para anticoagulación	Lejanía a centros pediátricos de HD
Inestabilidad cardiovascular	

Tabla 2. Ventajas e inconvenientes del tratamiento con diálisis peritoneal y hemodiálisis en niños según la situación del paciente

Indicación	Diálisis peritoneal	Hemodiálisis
Incapacitación padres	–	+++
No cumplimiento	–	++
Malnutrición establecida	–	++++
Cirugía abdominal	–	++++
Malformaciones de la pared abdominal (extrofia vesical)	–	++++
Anuria /Sobrecarga de volumen	–	++
Expectativa rápida de trasplante	–	++
Hernia diafragmática	–	+++
Necesidad de alta depuración (Hiperoxaluria I)	–	++++
Edad menor a 5 años	++++	–
Comienzo con alta FRR*	++++	–
Rehabilitación familiar	++++	–
Escolaridad	++++	–
Inestabilidad hemodinámica	++++	–

FRR: función renal residual.

5. EQUIPOS DE DIÁLISIS PEDIÁTRICA: DIALIZADORES, LÍNEAS Y MONITORES

5.1. El dializador

El dializador es el elemento básico del tratamiento con hemodiálisis. Hay tres características del mismo que determinan su rendimiento (eficacia con que purifica la sangre) y biocompatibilidad (propiedad por la que, al

contacto con la sangre, no provoca reacciones adversas clínicamente importantes):

Membrana

Es el componente esencial del dializador; según el tipo, posee diferente capacidad de ultrafiltración (K_{UF}) y depuración (K_{OA}), influyendo el espesor de la misma y el área de superficie como determinantes más importantes de la eliminación difusiva de solutos. Actualmente se utilizan fundamentalmente de dos clases: membranas derivadas de la celulosa modificada y membranas sintéticas; estas últimas tienen distintas composiciones químicas (copolímeros) y pueden ser de alto o bajo flujo según su mayor o menor permeabilidad hidráulica por cada unidad de presión aplicada (>20 ml/h/mmHg/m² o <10 ml/h/mmHg/m², respectivamente). Si el uso

Tabla 3. Diámetros aconsejados en catéteres infantiles para hemodiálisis

Relación de tamaño de catéteres HD por peso del niño	
Neonato-6 kg	6,5 Fr (una luz o doble luz)
6-15 kg	8 Fr
15-30 kg	9 Fr
Más de 30 kg	≥10 Fr

Tabla 4. Catéteres agudos y permanentes de hemodiálisis para población pediátrica

Indicación	Peso (kg)	Nombre y distribución	Características	Longitud	Diámetro
Temporal	7-15 kg	GamCath® Gambro®	Doble luz. Poliuretano radioopaco Subclavia y yugular	10 cm	6,5 Fr
Temporal	10-25 kg	GamCath® Gambro®	Doble luz. Poliuretano blando. Subclavia- Yugular y femoral	12,5 cm	8 Fr
Temporal	25-45 kg	GamCath® Gambro®	Doble luz. Poliuretano Yugular. Femoral	15 cm	11 Fr
Permanente	7-12 kg	medCOMP®	Silicona. Yugular interna. Otras localizaciones	18	8 Fr
Permanente	12-30 kg	medCOMP®	Silicona. Yugular interna. Otras localizaciones	24	8 Fr
Permanente	12-30 kg	medCOMP®	Silicona. Yugular interna. Otras localizaciones	28	11 Fr
Permanente	25-40 kg	medCOMP®	Silicona. Yugular interna. Otras localizaciones	36 cm	13,5 Fr
Permanente	30-50 kg	medCOMP®	Silicona. Yugular interna. Otras localizaciones	40 cm	13,5 Fr

de las de membranas de alto flujo-permeabilidad se asocia a una modalidad de tratamiento basado en convección o recambio como la HDFOL se precisa agua altamente purificada (ultra pura) y monitores de diálisis con control del volumen de ultrafiltración. La **Tabla 5** muestra los mínimos necesarios de contaminación química (conductividad) y bacteriana para definir agua pura, empleada en hemodiálisis convencional, o ultra pura empleada en HDFOL.

Diseño

Los dializadores actuales utilizados en pediatría son dializadores capilares, en los que la sangre fluye a través de fibras huecas de membranas semipermeables, en tanto que el líquido de diálisis fluye alrededor y generalmente en sentido inverso. El número y longitud de estas fibras proporciona la superficie total de membrana del dializador requiriendo un volumen de sangre determinado para su cebado

Tabla 5. Valores de referencia para el tratamiento de agua y fluidos en hemodiálisis

Contaminación bacteriana y conductividad de agua y líquido de diálisis		
	Agua purificada	Agua altamente purificada o ultrapura
Bacterias	<100 UFC/ml	<10 UFC/100 ml
Endotoxinas	<0,25 UE/ml	<0,03 UE/ml
Conductividad máxima	<4,3 μ S.cm ⁻¹	<1,1 μ S.cm ⁻¹
	Líquido de diálisis estándar	Líquido de diálisis ultrapuro
Bacterias	<1000 UFC/ml	<1 UFC/ml
Endotoxinas	<0,5 UE/ml	<0,03 UE/ml

que habrá que tener en cuenta según el tamaño del niño al prescribir la hemodiálisis. En la **Tabla 6** podemos encontrar diferentes dializadores utilizados en niños; su volumen de cebado, el área total de superficie y la capacidad de aclaramiento y ultrafiltración.

Proceso de fabricación y método de esterilización

Es de gran importancia que el dializador sea y se mantenga estéril, dado su contacto directo con la sangre. Suelen esterilizarse con autocla-

ve de vapor o irradiación gamma, evitándose ahora el gas bactericida óxido de etileno, por su mayor producción de reacciones anafilácticas.

5.2. Las líneas del circuito de sangre

Deben cumplir las siguientes características:

- Ser biocompatibles.
- No esterilizadas con óxido de etileno.

Tabla 6. Dializadores y líneas pediátricas: volúmenes extracorpóreos totales, índices de ultrafiltración y márgenes de peso

Dializador	Volumen de primado/ Superficie efectiva	Líneas (A+V) ¹	Volumen Extracorpóreo total	I.UF ² (ml/h/mmHg)	Aclaramiento de BUN a Flujos de: 25-50-75-100-125-150-200-250-300	Margen de peso
FXped (Fresenius®)	20/0,2 m ²	50 ml (a)	70	1,7	25-50-68-076	5-15 kg,
F40X CorDiax (Fresenius®)	32/0,6 m ²	50 ml (a) 111 ml (b) 110 ml (d)	82-144	21	25-50-72-090-110-132-175	12-24 kg,
F50X CorDiax (Fresenius®)	53/1 m ²	111 ml (b) 110 ml (d)	163-164	33	25-50-68-098-119-140-178-215-255	21-32 kg,
F60SX CorDiax (Fresenius®)	74/1,4 m ²	111 ml (b) 110 ml (d) 143 ml (c) 136 ml (e)	184-217	47	25-50-68-100-125-145-185-230-271	30-50 kg,
F80SX CorDiax (Fresenius®)	95/1,8 m ²	143 ml (c) 136 ml (e)	231-238	64	25-50-75-100-125-149-192-235-280	50-80 kg,

¹A+V: arterial + venosa; ²I.UF: índice ultrafiltración.

• En la prescripción del dializador y las líneas pediátricas hay que tener en cuenta el volumen extracorpóreo total que no debe ser superior a un 12% de la volemia del paciente, así como, el aclaramiento obtenido con diferentes flujos hemáticos

• Esta tabla incorpora estos datos con dializadores de polisulfona Fresenius® de alta permeabilidad CorDiax y kit de líneas:

a) Neonatal A-V NATUR LINE T.M de 50 ml;

b) Pediátrico A-V Paed de 111 ml

c) Adulto FML (FA 204 C/FV 204) de 143 ml para utilizar en monitores 40085 (hemodiálisis convencional y hemodiafiltración on line).

• Además, hay disponibles dos kit para hemodiafiltración on line en monitores Fresenius® 5008:

a) Pediátrico AV-Set ONLINE plus Paed 5008-R de 110 ml

b) Adulto AV-Set ONLINE plus BVM 5008-R de 136 ml

• Los aclaramientos de urea reflejados a diferentes flujos están obtenidos a través de:

1) Las gráficas de aclaramiento proporcionadas por Fresenius®

2) Experiencia personal en pacientes de diferentes edades en los que la velocidad de baño no ha sido constante dependiendo si la modalidad ha sido hemodiálisis onventional o hemodiafiltración on line

- De un tamaño con un volumen de cebado adecuado según el peso del niño (neonatal: 20-30 ml; lactantes: 70-80 ml; o pediátricas: 100-150 ml).

En la **Tabla 6** se puede ver las líneas del circuito hemático correspondiente a cada dializador y el volumen extracorpóreo total (suma del volumen de cebado del dializador y las líneas).

5.3. El monitor de diálisis

Es un sistema integrado que consta de mezclador de concentrado de baño de diálisis con agua tratada (34 litros de agua por cada litro de concentrado) y de control de flujo hemático. La sangre y el baño son impulsados hacia el dializador mediante rodillos o bombas. La bomba de sangre crea una presión negativa en la línea arterial y transforma esta presión en positiva para impulsar la sangre, tras pasar por el dializador, a través de la línea venosa de regreso al paciente. El monitor controla la composición, temperatura y flujo de sangre y baño de diálisis en el dializador, así como, la ultrafiltración programada. Los monitores utilizados en pediatría son esencialmente los mismos que en los adultos, a los que se ha incorporado un software pediátrico. Además de los controles de seguridad obligatorios (fugas de aire y sangre, temperatura, control de ultrafiltración y conductividad), los monitores modernos incorporan módulos capaces de medir en tiempo real cambios en el volumen plasmático del paciente, recirculación y dializancia lo que permiten obtener cálculos muy aproximados de la dosis de diálisis durante la sesión y poder modificar la programación inicial según los cambios obtenidos, así como, ajustar la ultrafiltración a los cambios de volumen plasmático del paciente.

6. CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD DE DIÁLISIS PEDIÁTRICA

Las Unidades de Diálisis Infantiles deberían estar situadas en hospitales con especialidades pediátricas, siendo muy importantes las de Neonatología, Nutrición, Cuidados Intensivos, Cardiología, Psiquiatría, Radiología intervencionista, Cirugía y Urología Pediátricas. Lo ideal es que el hospital sea trasplantador, pero en caso que no lo fuere debería estar estrechamente conectado con el de referencia, estando los pacientes incluidos en lista de espera o programados para recibir trasplante de vivo salvo contraindicaciones. Asimismo, la Unidad de Diálisis Infantil debe contar con enfermería especializada y apoyo de psicólogos, maestros, pedagogos y grupos de voluntarios. Las unidades deben ser de puertas abiertas para padres y familiares y estar integradas en un proyecto escolar docente. La **Tabla 7** muestra los criterios mínimos y óptimos de calidad de una unidad de diálisis pediátrica.

7. PRESCRIPCIÓN DE LA SESIÓN DE HEMODIÁLISIS

Una sesión de diálisis individualizada es esencial para el control adecuado del paciente. La prescripción de las sesiones de diálisis se basa en la optimización de los siguientes criterios:

- Depuración o purificación.
- Ultrafiltración o ajuste del estado de hidratación y volumen plasmático del paciente.
- Regulación del medio interno.
- Aspectos nutritivos, hormonales y de crecimiento.

Tabla 7. Criterios de calidad de una unidad de de diálisis pediátrica

Grado de calidad	Ideal	Aceptable	No aceptable
UBICACIÓN			
Tipo de centro	Centro pediátrico	Centro adultos con control pediátrico	Centro de adultos sin control pediátrico
SITUACIÓN DEL PACIENTE CON RESPECTO AL TRASPLANTE			
Lista de espera	Incluido	En trámite de inclusión	No incluido
TRATAMIENTO DE AGUAS			
Tratamiento del agua	Agua ultrapura	Tratamiento estándar	–
MODALIDAD DE TRATAMIENTO			
Tratamiento	Hemodiafiltración <i>on line</i>	Hemodiálisis convencional individualizada	Hemodiálisis no individualizada
PERIODICIDAD DE SESIONES			
Número de sesiones	Frecuentes según necesidades	Ajustado a necesidades	Tres sesiones semanales independientemente de necesidades
PSICOSOCIAL			
Tipo de unidad	Abierta a padres	Limitada	Cerrada
Maestro	Sí, con programa educativo	Maestros	Ningún tipo de actividad
Actividades	Variadas (lúdicas, musicoterapia)	Limitadas	Ningún tipo de actividad
Psicólogo	Especializado	General	No
ENFERMERÍA			
Enfermería	Altamente especializada	Pediátrica	Nefrológica exclusiva
MÉDICO			
Especialista	Nefrólogo pediatra	Nefrólogo o pediatra	–
PROGRAMACIÓN SESIONES			
Ultrafiltración	Ajustada al volumen plasmático	Perfil predefinido	Lineal
Depuración	Individualizada y controlada por módulo y analítica	No individualizada	No valorada
Baño	Individualizado	–	Fijo
Control volumen plasmático	Clínica; presión arterial, frecuencia cardiaca y módulo del monitor	Solo clínica	Ningún control
Peso seco	Ajustado por bioimpedancia	Por clínica	Solo si hipotensión
ACCESO VASCULAR			
Catéter central	–	Tunelizado yugular	Otras localizaciones
Fístula arteriovenosa	Solo realizar en periodos prolongados y sin expectativa de trasplante	–	–
ADECUACIÓN			
Criterios de adecuación	Clínicos (crecimiento y nutrición) Y analíticos	Solo clínicos	Solo analíticos (por ejemplo kt/v de urea mayor de 1,7 por sesión)
CRECIMIENTO			
Creimiento en diálisis	Velocidad de crecimiento adecuada sin necesidad de hormona de crecimiento	Creimiento adecuado con tratamiento de hormona de crecimiento	Fracaso de crecimiento
NUTRICIÓN			
Parámetros nutricionales	Adecuados	Dentro de límites normales con necesidad de alimentación enteral forzada	Malnutrición

Para ello debemos considerar la modalidad y frecuencia de las sesiones y ajustar el tratamiento a las necesidades del paciente teniendo en cuenta la ganancia de peso y talla y el cambio constante de la composición corporal.

7.1. Elección de la modalidad de hemodiálisis y frecuencia y duración de las sesiones

Aunque sin evidencia clara, los pocos estudios que actualmente existen en niños señalan algunas ventajas de la hemodiálisis convectiva (HDFOL) frente a la difusiva (hemodiálisis convencional) en términos de crecimiento. Sin embargo, hay dos factores importantes que sí pueden modificar la tolerancia al tratamiento y mejorar el crecimiento y la nutrición: la mayor duración de las sesiones que permite un control óptimo del peso seco y del balance hídrico del individuo y la periodicidad de las mismas. Estudios iniciales en niños demuestran que el incremento del número de sesiones semanales a cuatro, cinco o seis no solo mejora el crecimiento y la nutrición del paciente, sino que permite un balance negativo del fósforo, incluso sin quelantes.

7.2. Elección del dializador y sistema extracorpóreo

Los dializadores de polisulfona se adaptan bien a las necesidades pediátricas dada su mayor biocompatibilidad, bajo volumen de primado, elevado índice de ultrafiltración y óptimo K_{O_A} . En la **Tabla 6** se encuentran representados los dializadores pediátricos de polisulfona con sus respectivos volúmenes de primado y las líneas correspondientes. En dicha tabla, la columna de la derecha representa el límite superior e inferior del peso del niño para el que pueden ser utilizados.

El volumen total extracorpóreo debe situarse entre un 7 y un 12% de la volemia del paciente. Por ejemplo, si queremos dializar a un lactante de 9 kg. de peso con un volumen plasmático aproximado de ± 720 ml, el circuito extracorpóreo debe tener entre 50 y 86 ml (7 y 12% del volumen plasmático respectivamente). El dializador FXPed de Fresenius® posee un volumen de primado de 20 ml y existe un kit neonatal de líneas con volumen total de 50 ml (*Neonatal A-V NATUR LINE TM*) ajustable para monitores Fresenius®; por tanto el volumen total será de $20 + 50 = 70$ ml, que se encuentra dentro de los límites tolerables.

7.3. Programación de flujo sanguíneo y de baño en hemodiálisis convencional y en HDFOL

Hemodiálisis convencional

En la **Tabla 6**, se puede observar el aclaramiento de urea obtenido con diferentes dializadores de polisulfona mediante flujos hemáticos crecientes durante una hemodiálisis convencional. La programación del flujo de sangre depende del aclaramiento de urea deseado y de la duración de la sesión y en condiciones normales oscilará entre 4 ml/kg/min en lactantes y 5 ml/kg/min en adolescentes para sesiones de hemodiálisis difusiva de 4 horas de duración. El flujo de baño de diálisis debería ser al menos el doble del flujo hemático. El cálculo del volumen de distribución de la urea puede hacerse a través de fórmulas convencionales o de estudios con bioimpedancia pero si no disponemos de ella recomendamos utilizar un volumen de distribución uniforme de 600 ml/kg. El siguiente ejemplo, de una forma orientativa, nos permitiría programar una sesión de hemodiálisis en cualquier niño.

Ejemplo: ¿Qué valores de flujo plasmático y de baño necesitaría un niño de 12 kilogramos al que queremos prescribir una dosis de diálisis de 1,5 por sesión de cuatro horas de duración?

En aras de simplificar y prescindiendo del aclaramiento convectivo ligado a la ultrafiltración para obviar fórmulas complejas como la de Daugirdas podríamos asumir que:

- $Kt/V \sim Ln (BUN1/BUN2)$.
- Si Kt/V programado = 1,5.
- $1,5 = K \cdot 240 \text{ min} / 12 \cdot 600$.
- $K = (1,5 \cdot 7200 \text{ ml}) / 240 \text{ min} = 45 \text{ ml/min}$ ($\pm 3,75 \text{ ml/kg/min}$).

Una vez definido el aclaramiento de urea deseado buscaremos qué flujo de sangre proporcionará dicho aclaramiento. que en este caso es de 45 ml/min. En la mayoría de los dializadores pediátricos será de 50 ml/min. El flujo de baño de diálisis sería al menos de 2 a 3 veces el valor obtenido; es decir 150 ml/min.

Hemodiafiltración on line (HDFOL)

La hemodiálisis convencional, especialmente en un régimen intensificado de sesiones, consigue en la mayoría de las ocasiones una buena situación del paciente hasta el trasplante. No hay estudios suficientes que permitan extrapolar estos hallazgos al tratamiento con HDFOL (basado en el transporte convectivo de moléculas frente al difusivo), pero es de suponer que la mayor depuración alcanzada pueda suponer en el futuro la modalidad de elección de tratamiento con hemodiálisis en la infancia. De las tres modalidades existentes (post-

dilucional, predilucional y mixta) la más utilizada es la primera. El volumen total de infusión es de diez litros por metro cuadrado y sesión en modo post-dilucional y aproximadamente el doble en pre-dilucional. La **Tabla 8** muestra los valores de programación en modo post-dilucional en niños y adolescentes de diferentes edades. Las necesidades para poder desarrollar esta modalidad son:

- Acceso vascular apropiado para conseguir flujos de extracción e infusión suficientes.
- Agua de diálisis ultra pura y con ausencia de endotoxinas (**Tabla 5**).
- Peso superior a 15 kg.
- Dializadores de alta permeabilidad.
- Personal médico y de enfermería formado.

7.4. Ultrafiltración y perfil de sodio

La programación exacta de la ultrafiltración en cada sesión es imprescindible en lactantes y niños por lo que recomendamos monitores con control automático ajustado al volumen plasmático, que permiten conseguir tasas de ultrafiltración adecuadas sin provocar hipotensión. No es inhabitual que durante las primeras sesiones de niños con poliuria tengamos que infundir sueros salinos isotónicos para prevenir cambios en el volumen plasmático; además, debemos ajustar la concentración de sodio del baño a lo largo de la sesión; más alto inicialmente y más bajo en la última hora. El puesto de hemodiálisis (cama o cuna) debe incorporar un sistema de control de peso. Es necesario además, un control riguroso por parte de la enfermería de la ingesta sólida y

Tabla 8. Flujos de sangre y baño; volumen y flujo de infusión y rendimiento de la técnica para diferentes edades y pesos para niños en tratamiento con hemodiafiltración on line post-dilucional

Edad	Peso	Superficie corporal (m ²)	Volumen total hemofiltración (litros de intercambio)	Dializador	QB/QD ml/min	Q _{HDFOI} ml/min	K _{urea}	Ratio K _{urea} /QB	Kt/V _{urea}
3	15	0,63	5740	FX 40	100/500	23	95	0,95	2,53
5	20	0,8	7200	FX 40	120/500	30	114	0,95	2,4
7	25	1	9000	FX 50	150/800	37,5	189	0,94	2,25
8	30	1,1	10 000	FX 50	170/800	42	160	0,94	2,13
9,5	35	1,2	11 000	FX 50	180/800	45	169	0,94	1,93
11	40	1,3	12 000	FX 60	200/800	50	184	0,92	1,84
12	45	1,38	12 500	FX 60	210/800	52	190	0,92	1,69
13	50	1,47	13 300	FX 60	220/800	55	230	0,92	1,84
14	55	1,57	15 600	FX 80	260/800	65	235	0,9	1,70
15	60	1,65	16 500	FX 80	280/800	70	250	0,9	1,66
16	65	1,73	18 000	FX 80	300/800	75	270	0,9	1,66

En esta tabla se señala de forma orientativa cómo programar una hemofiltración "on line" en modo post-dilucional en niños y adolescentes de diferentes edades: volumen total de intercambio por hemofiltración, flujos de intercambio (Q_{HDFOI} ml/min) y de sangre (QB ml/min), dializador y rendimiento obtenido de forma aproximada para una diálisis de 4 horas expresados en forma de Aclaramiento de urea (K_{urea}) y Kt/V total durante la sesión en un monitor Fresenius 4008S. Hay que tener en cuenta que en los nuevos monitores 5008 el Q_{HDFOI} es calculado directamente por el monitor a partir de los valores de QB y presión transmembrana con objeto de evitar hemoconcentración excesiva; asimismo el QD se ajustaría automáticamente a los valores anteriores con objeto de evitar gasto innecesario de baño de diálisis. En cualquier caso la ratio Q_{HDFOI}/QB se aproxima a 0,25 por cualquier procedimiento.

líquida del niño durante la sesión. La ganancia de peso ínter diálisis no debería exceder del 5% del peso seco establecido. Las modificaciones del peso seco se realizan con carácter semanal en los niños mayores y diario en los lactantes y siempre que no exista variación del estado clínico.

7.5. Anticoagulación

Cada vez es menos frecuente la administración de heparina sódica horaria o en bomba de infusión que ha sido sustituida por heparinas de bajo peso molecular (HBPM) que tienen la ventaja de poseer una mayor biocompatibilidad, no alterar los tiempos de coagulación y

disminuir el riesgo de sangrado. Sus principales desventajas radican en la permanencia del efecto anticoagulante una vez finalizada la sesión de diálisis y el mayor coste económico. Si se decide este tipo de anticoagulación, recomendamos la administración de enoxaparina a dosis de 0,5 a 1 mg/kg (50 a 100 U/kg) en la línea arterial al inicio de la sesión. Aunque no está recomendado sistemáticamente, en algunos pacientes con hemodiálisis diaria en el que las dosis acumuladas de HBPM puede inducir riesgo de hemorragia por acumulación se puede determinar actividad antifactor Xa con objeto de dosificar las heparinizaciones sucesivas.

7.6. Sellado y cuidado del catéter

La casi sistemática utilización del catéter central como acceso vascular en niños deriva en una atención específica que incluye vigilancia del aspecto del orificio de salida, control bacteriológico del mismo, cura diaria o semanal, según el estado, y finalmente sellado de las luces con citrato, heparina o uroquinasa.

7.7. Adecuación

Los criterios de adecuación no serán nunca exclusivamente numéricos, sino que también serán valorados parámetros clínicos como la nutrición y el crecimiento. Aunque las guías de práctica clínica recomiendan que el Kt/V mínimo por semana sea superior a 4,5 (1,5 por sesión en hemodiálisis convencional de tres sesiones semanales) hoy sabemos que el incremento de estos valores hasta alcanzar niveles de Kt/V de 8-9, o incluso más, como resultado de un incremento del número de sesiones semanales, duración de las mismas o ambas, se asocia con una espectacular mejoría de los parámetros de nutrición y crecimiento así como un mejor control de la acidosis y del fosfato sérico. Con dos limitaciones básicas, social y económica, la intensificación del régimen de diálisis debería ser planteado en todos los pacientes. Para el cálculo del Kt/V, utilizaremos la fórmula de Daugirdas de segunda generación:

$$Kt/V = \ln [(BUN1/BUN2) - 0,008 * Tdh] + (4 - 3,5 * [BUN1/BUN2]) * (UF / \text{peso seco})$$

Donde *Tdh* sería la duración en horas de la sesión de diálisis y *UF* la ultrafiltración en litros. El peso seco post diálisis se expresaría en kilogramos. Esta fórmula permite un cálculo más

exacto de la dosis de diálisis y tiene una excelente correlación con las obtenidas a través de los cambios en la dializancia de los modernos monitores de diálisis.

8. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA HEMODIÁLISIS PEDIÁTRICA: NUTRICIÓN, CRECIMIENTO, ANEMIA Y ALTERACIONES DEL METABOLISMO ÓSEO Y MINERAL

8.1. Nutrición

Los requerimientos nutricionales mínimos son el 100% de los estimados para la edad del niño (**Tabla 9**), ajustados a su actividad física y tamaño corporal (índice de masa corporal [IMC]), valorando su ajuste según la respuesta en ganancia o pérdida de peso, y manteniendo una distribución adecuada de principios inmediatos. Además, teniendo en cuenta que hay cierta pérdida proteica y de aminoácidos en cada sesión de hemodiálisis, la ingesta proteica debe incrementarse en 0,1 g/kg/d sumado a la ingesta proteica recomendada según la edad. Con frecuencia, sobre todo en lactantes y niños de corta edad, el estado de hiporexia por la insuficiencia renal hace necesario el empleo de sonda nasogástrica o de gastrostomía para asegurar la consecución de estos requerimientos. La diálisis diaria mejora la nutrición. La **Tabla 10** muestra las determinaciones necesarias para estimar la situación nutritiva de niños en diálisis, así como, su periodicidad y el valor práctico de las mismas.

8.2. Crecimiento

La HD frecuente, con un aumento del número de sesiones semanales, mejora, junto con la nutrición, la velocidad de crecimiento. El efec-

Tabla 9. Necesidades dietéticas basales para niños, adolescentes y adultos jóvenes

Edad (años)	Kcal/kg	Kcal totales	Proteínas (g/kg)	Calcio (mg)	Fósforo (mg)	Sodio (mg)	Potasio (mg)
0-0,5	108	650	2,2	400	300	180	175
0,5-1	98	850	1,6	600	500	180	175
1-3	102	1300	1,2	800	800	250	145
4-6	90	1800	1,2	800	800	220	120
7-10	70	2000	1,1	800	800	200	100
11-14 (Niños)	55	2500	1	1200	1200	170	90
11-14 (Niñas)	47	2200	1	1200	1200	130	65
15-18 (Chicos)	45	3000	0,9	1200	1200	180	95
15-18 (Chicas)	38	2200	0,8	1200	1200	120	60
19-24 (Hombres)	40	2900	0,8	1200	1200	180	95
19-24 (Mujeres)	36	2200	0,8	1200	1200	120	60

La presente tabla expresa las necesidades calórico-proteicas mínimas para cubrir el gasto energético basal. El aporte energético y proteico debe ser superior a las necesidades basales según la actividad metabólica desarrollada por el individuo (actividad física, crecimiento, enfermedad). La insuficiencia renal y la hemodiálisis implican un mayor gasto metabólico por lo que estas necesidades deben ser tenidas en cuenta en la prescripción dietética. En la práctica, las necesidades calóricas pueden ser de hasta 1,5 veces las basales y las proteicas el doble. En un niño o adolescente en hemodiálisis, el aporte proteico debe suponer un 15% del aporte calórico global.

to es sumatorio al de la hormona de crecimiento (rHGH), indicada cuando la talla del niño se sitúe por debajo de -2 desviaciones estándar (DE) de talla para la edad y sexo, o la velocidad de crecimiento sea inferior también a -2 DE. Antes de su administración, deben corregirse otros factores desencadenantes: malnutrición, acidosis, hiperfosfatemia e hiperparatiroidismo.

8.3. Anemia

En general, podríamos fijar los niveles diana de hemoglobina entre 11 y 12 g/dl, con objetivos de ferritina sérica en torno a 100-500 ng/ml e índice de saturación de la transferrina superior al 20%. Para ello se administra hierro

oral o IV y, una vez conseguidos niveles correctos de hierro, asociamos al tratamiento eritropoyetina alfa, beta o darbepoetina, administrada generalmente por vía intravenosa al finalizar la sesión de hemodiálisis. La corrección de la anemia mejora el riesgo cardiovascular, así como, la actividad física, la función cardíaca, el apetito, la asistencia escolar y la calidad de vida.

8.4. Alteraciones del metabolismo óseo y mineral

Mantener unos niveles de calcio y de fósforo normales es una de las metas de la HD crónica. Se puede individualizar la concentración de calcio en el baño de diálisis según las necesi-

Tabla 10. Controles analíticos y nutricionales en niños en hemodiálisis

Parámetro	Periodicidad	Valor clínico
Determinaciones somatométricas Peso (Z), Talla (Z), Perímetro cefálico (Z) Índices nutricionales (Waterloo, McLaren y Quetelet) Pliegues cutáneos (Bicipital, Tricipital, Subescapular, Muslo)	Mensual	Muy alto
Determinaciones en sangre y dializado Albúmina, Proteínas, Creatinina, Prealbúmina, Transferrina, Ferritina, Lípidos, Equivalente proteico de la dieta	Mensual	Alto
Encuesta dietética / monitorización ingesta Comprobar utilización de sondas de alimentación o gastrostomía. Estado de las sondas	Trimestral	Muy alto
Otros marcadores Hemoglobina glicosilada, IGF-1, B12, Fólico, Beta 2 microglobulina, Leptina	Trimestral	Relativo
Bioimpedancia Ángulo de fase, agua corporal, agua extracelular y masas magra, grasa y celular	Mensual	Alto En la evolución nutricional En el ajuste del peso seco
Calorimetría indirecta	Semestral	Alto (sí existen cambios)
Balance nitrogenado	Semestral o anual	Relativo: Buscar relación con cinética de la urea

dades. El incremento del número y/o la duración de las sesiones de HD tienen efectos positivos sobre el aclaramiento de fosfato, permitiendo en ocasiones la no necesidad de tratamiento con quelantes. La **Tabla 11** muestra los niveles recomendados en niños en diálisis de los agentes que intervienen en la mineralización ósea.

9. COMPLICACIONES DURANTE LA SESIÓN DE HEMODIÁLISIS

9.1. Hipotensión

Es la complicación más frecuente. Las manifestaciones clínicas pueden ser difíciles de valorar en lactantes por lo que se recomienda la monitorización de la presión arterial y la frecuencia cardíaca (pulsioxímetro) de forma

continua, ya que el aumento de esta última suele preceder al accidente hipotensor. Aunque su etiología es generalmente multifactorial, debe intentarse un diagnóstico y tratamiento causal; no obstante, en el episodio agudo el tratamiento se realiza colocando al paciente en posición de Trendelenburg y administrando bolos de suero salino 1 molar de 0,5 a 2 mEq/kg en la cámara venosa. Durante la hipotensión la ultrafiltración debe interrumpirse. Puede emplearse manitol preventivo o ultrafiltración aislada si la ganancia ponderal excede del 5% del peso seco.

9.2. Hipotermia

La mayor superficie corporal con relación al peso, los flujos sanguíneos relativamente bajos y la ultrafiltración aislada son factores de riesgo de hipotermia. Se debe elevar la tempe-

Tabla 11. Periodicidad y objetivos de variables del metabolismo mineral para niños en hemodiálisis

Variable	Periodicidad	Objetivo
Calcio	Mensual	Rango normal para la edad
Fosfato	Mensual	Rango normal para la edad
Ca x P (mg/dl)	Mensual	Menor de 62; recomendado: 41-58
Fosfatasa alcalina	Mensual	Rango normal para la edad
Bicarbonato sérico	Mensual	Rango normal para la edad; mínimo >22 mEq/l
PTH intacta	Mensual	2-3 veces el límite superior de la normalidad
25-hidroxi-vitamina D	Mensual	Superior a 20 ng/l
Edad ósea	Anual	No signos de hiperparatiroidismo ni áreas de osteopenia

ratura del baño o realizar ultrafiltración aislada tan solo en periodos cortos de tiempo.

9.3. Síndrome de desequilibrio

El cambio osmolar rápido que acompaña a las primeras sesiones puede producir este síndrome neurológico caracterizado por náuseas, vómitos, cefalea, hipertensión y convulsiones. Para minimizar el riesgo, durante las primeras sesiones de diálisis y en pacientes con valores de nitrógeno ureico superiores a 100 mg/dl, se recomiendan aclaramientos de 1,5 a 2 ml/kg (Kt/V de BUN por sesión de 0,6 a 0,8) y la administración preventiva de manitol a 0,5 g/kg.

9.4. Complicaciones del catéter

La utilización casi sistemática de catéteres como acceso vascular en niños ha favorecido la observación de complicaciones infecciosas y no infecciosas. La vigilancia, cuidado y sellado de los mismos por personal especializado disminuye la tasa de complicaciones. Las más frecuentes son: la infección del orificio de salida, la bacteriemia dependiente del catéter, la

obstrucción parcial o total de una o dos luces del acceso, la extrusión parcial o total, la trombosis venosa y las arritmias. Cada complicación tiene un tratamiento específico que va desde la antibioterapia local o sistémica, la administración de uroquinasa intraluminal, la heparinización sistémica y/o la retirada y sustitución del acceso vascular.

10. TRASPLANTE EN PACIENTES EN HEMODIÁLISIS

La decisión de dializar a un paciente en el periodo inmediato anterior a un trasplante depende del tiempo transcurrido desde la diálisis previa, el estado de hidratación y los niveles de electrolitos, fundamentalmente potasio. En pacientes bien dializados, una sesión preoperatoria para retirar líquido es generalmente innecesaria, siendo incluso beneficioso el que estén ligeramente por encima de su peso seco para facilitar la diuresis postoperatoria. Si, no obstante, se considera necesaria, una HD corta, de una a dos horas, puede ser suficiente para corregir los valores de potasio y optimizar el estado hemodinámico.

Mención especial al Dr. Santiago Mendizábal Oteiza, que ha realizado la revisión externa de este capítulo.

Los criterios y opiniones que aparecen en este capítulo son una ayuda a la toma de decisiones en la atención sanitaria, sin ser de obligado cumplimiento, y no sustituyen al juicio clínico del personal sanitario.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Alonso Melgar A, Melgosa Hijosa M. Hemodiálisis crónica en pacientes pediátricos". En V. García Nieto, F. Santos y B. Rodríguez Iturbe: Nefrología Pediátrica" 2ª edición. Biblioteca Aula Médica, 2006. Capítulo 66. pp 723-74.
- Alonso Melgar A, Muley Alonso R. Diálisis pediátrica. En: Lorenzo-Sellarés V, López-Gómez JM, editors. Nefrología al día [Internet]. 2 ed. Barcelona (Spain) Sociedad Española de Nefrología / Plusmedical; 16/1/2013, <http://dx.doi.org/10.3265/Nefrologia.2010.pub1.ed80.chapter2827>.
- Fischbac M, Edefonti A, Schröder C, Watson A. The European Pediatric Dialysis Working Group. Hemodialysis in children: general practical guidelines. *Pediatr Nephrol* 2005;20:1054-66.
- Fischbach M, Terzic J, Menouer S, Dheu C, Seuge L, Zalosczi A. Daily online haemodiafiltration promotes catch-up growth in children on chronic dialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2010;25: 867-73.
- Herrero-Calvo JA, González-Parra E, Pérez-García R, Tornero-Molina F, en representación del Grupo de Estudio Español Sobre Anticoagulación en Hemodiálisis. Estudio español sobre anticoagulación en hemodiálisis. *Nefrología* 2012;32:143-52.
- Hothi DK, Stronach L, Harvey E. Home haemodialysis. *Pediatr Nephrol* 2013;28:721-30.
- KDOQI Clinical Practice Guideline for Nutrition in Children with CKD. *Am J Kid Dis*, 2009; 53 (Suppl 2).
- Michael M, Brewer FP, Goldstein SC. Blood volume monitoring to achieve target dry in pediatric hemodialysis patients. *Pediatr Nephrol* 2004; 19:432-7.
- National Kidney Foundation K/DOQI Clinical Practice Guidelines for Bone Metabolism and Disease in Chronic Kidney disease. *Am J Kidney Dis* 2003; 42 (suppl 3).
- Palanca Sánchez I, Elola Somoza J, Bernal Sobrino JL, Conde Olasagasti J, Alonso Melgar A, Arrieta Lezama J, et al. Unidad de depuración extrarenal: Estándares y recomendaciones. INFORMES, ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN 2011. Ministerio de sanidad, política social e igualdad informes, estudios. Centro de publicaciones paseo del Prado, 18. 28014 Madrid. NIPO papel: 860-11-225-5. NIPO en línea: 860-11-224-X. Depósito Legal: M-48594-2011.

- Shroff R, Ledermann S. Long-term outcome of chronic dialysis in children. *Pediatr Nephrol* 2009;24:463-74.
- Singer J, Gritsch AH, Rosenthal JT. The transplant operation and its surgical complications. En: Danovitch G, editor. *Handbook of kidney transplantation*. 4th ed. Philadelphia 2005 LWW.
- Tjaden L, Tong A, Henning P, Groothoff J, Craig JC. Children's experiences of dialysis: a systematic review of qualitative studies. Downloaded from adc.bmj.com on January 20, 2014 - Published by group.bmj.com
- Van Stralen KJ, Tizard EJ, Verrina E, Schaefer F, Jager KJ (on behalf of the European Society for Paediatric Nephrology/European Renal Association - European Dialysis and Transplant Association (ESPN/ERA-EDTA) registry study group). Demographics of paediatric renal replacement therapy in Europe: 2007 annual report of the ESPN/ERA-EDTA registry. *Pediatr Nephrol* 2010; 25:1379-82.
- Verrier-Jones K RC, Evans J, Webb N, et al. Aspects of anaemia management in children with established renal failure: Royal College of Physicians and the Renal Association; 2006.