

4 *CAPÍTULO*

ADMINISTRACIÓN INTRAVENOSA DE MEDICAMENTOS: ASPECTOS TÉCNICOS

C. Lacasa Arregui

J. Giráldez Deiró

A. Idoate García

La administración de fármacos y fluidos por vía intravenosa tiene una gran utilización en el ámbito hospitalario. Anualmente, reciben este tipo de terapia un elevado número de pacientes, y un porcentaje muy importante de todos los fármacos y fluidos que se administran en los hospitales se hace de forma intravenosa.^{1,2}

La existencia de un variado número de situaciones que pueden representar una indicación para administración endovenosa de medicamentos ha contribuido a su fuerte desarrollo (Tabla 4.1). A esto se une la aparición de fármacos efectivos por esta vía (algunos exclusivamente por ella), los avances en los sistemas de acceso venoso, los métodos y los equipos para su administración.

Hay diferentes campos donde la terapia IV tiene una importancia ya establecida y otros donde su empleo se está desarrollando cada vez más:

- En Pediatría, la vía IV se asume, en determinadas circunstancias, como la más fiable y la manera de garantizar la biodisponibilidad completa del fármaco.^{4,5}

- En Anestesiología, se están popularizando las prácticas de anestesia IV por la introducción de fármacos anestésicos IV que reúnen los criterios de rápido comienzo y fin de la acción y que los hace ideales para su administración continua.⁶ En ciertos aspectos, la perfusión IV de anestésicos tiene similar interés que la anestesia inhalatoria, pero obliga a emplear sistemas de perfusión seguros y flexibles.⁷
- Están apareciendo datos experimentales que indican que la perfusión de determinados fármacos siguiendo ritmos circadianos puede mejorar su efectividad o disminuir su toxicidad. Así, de la fludarabina y otros citostáticos, hay datos que indican una menor toxicidad con determinados ritmos de administración IV.⁸ Los nuevos y sofisticados aparatos de perfusión facilitan la realización de estos tipo de terapias.⁹
- Fuera del ámbito hospitalario, el empleo de fármacos IV en pacientes ambulatorios es una práctica cada vez más extendida. En respuesta a las demandas que surgen en este campo se han logrado grandes avances en bombas y sistemas de liberación de medicamentos IV. Estos sistemas suponen un gran progreso en cuanto a la mejora de la calidad de vida en los pacientes así tratados.^{10,11}
- El desarrollo de bombas implantables, está permitiendo el empleo de terapias IV con gran precisión y comodidad para el paciente en tratamientos específicos y de larga duración.¹²

Tabla 4.1 *Indicaciones para el empleo de la vía IV en la administración de medicamentos.*

— Asegurar la consecución de una concentración adecuada del fármaco. ¹
— Permitir un control directo sobre ciertas variables: inicio del efecto, concentración sérica máxima del fármaco. ¹
— Garantizar el cumplimiento de la terapia en el cuidado de pacientes ambulatorios. ¹
— Producir un efecto biológico que no se puede conseguir por la administración oral (el fármaco es degradado o no absorbido). ³
— Permitir la administración de fármacos al paciente que no puede ingerir o absorber formas orales. ³
— Permitir la administración de fármacos a pacientes que están inconscientes, no cooperan o son incontrolables. ¹
— Para facilitar una rápida corrección de desequilibrios de fluidos y electrolitos y suministrar necesidades nutricionales. ¹
— En pacientes críticos en los que se requiere un rápido inicio de la acción. ³

En la mayoría de los casos, básicamente, la administración de fluidos y medicamentos IV se realiza por la conexión de un recipiente o sistema que contiene el fluido, con el sistema venoso del paciente a través de un equipo de perfusión de material plástico que controla la velocidad de flujo.¹³

Por lo tanto, se pueden distinguir diferentes elementos que participan en la perfusión IV de medicamentos (Tabla 4.2). Disponer de unos conocimientos básicos sobre estos elementos facilitará la elección del procedimiento más adecuado de perfusión en cada circunstancia concreta y la comprensión de los posibles problemas o alteraciones que aparezcan. De esta forma, será más fácil de conseguir el fin último de la terapia IV: alcanzar el efecto terapéutico deseado de una forma segura y efectiva.

Tabla 4.2. *Elementos que participan en la administración IV de medicamentos.*

- Características y situación clínica del paciente.
- Acceso venoso disponible.
- Métodos de administración.
- Equipos de perfusión.
- Aparatos de control de la perfusión (electrónicos o no).

I. MÉTODOS Y SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN INTRAVENOSA DE MEDICAMENTOS

La perfusión IV de medicamentos se realiza utilizando soluciones de los mismos de pequeño o gran volumen. A su vez, se utilizan diferentes tiempos de perfusión dependiendo de las características farmacodinámicas del medicamento, así como diferentes métodos para obtener la velocidad deseada y conseguir los niveles sanguíneos del fármaco deseados, minimizando el grado de irritación producido por su administración. El interés por conseguir un nivel plasmático constante y prolongado también afecta al modo de administración seleccionado. Otro factor a considerar es la velocidad de administración recomendada para cada medicamento.¹⁴ Una clasificación clásica de los métodos de perfusión es: inyección IV directa y perfusión IV (Figura 4.1).

I.1. Administración IV directa

En la administración IV directa, o bolus el vehículo junto con el medicamento, se sitúa en una jeringa y se infunde en un corto período de tiempo (3-5 minutos). Este tiempo puede variar según la naturaleza de los fármacos, y cada fabricante suele dar unas recomendaciones de tiempo de perfusión.¹⁴

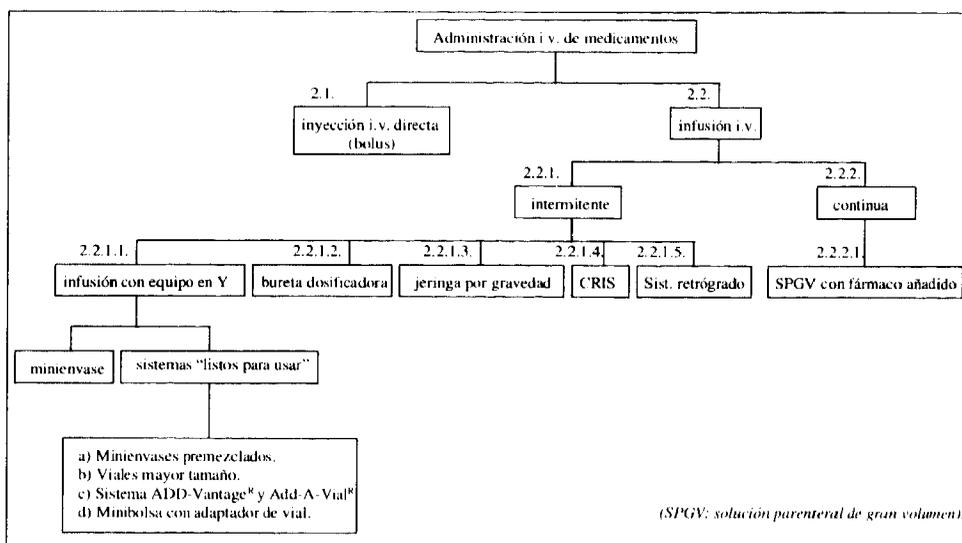


Figura 4.1. Métodos de administración IV de medicamentos. Modificado de (14).

La administración IV directa de medicamentos se puede realizar: directamente a la vena, a través del punto de inyección lateral del equipo de perfusión primario, por un catéter intermitente u obturador de heparina, o por un catéter con obturador.¹⁵

Las ventajas que presenta esta forma de administración son:

- Permite libertad de perfusión al paciente entre administración de fármacos.¹⁵
- Dependiendo del procedimiento que se emplee, se puede administrar menor volumen de fluidos.¹⁵
- Se garantiza que el fármaco llegue al paciente.⁶

Los inconvenientes con los que nos podemos encontrar son:

- Si se lava el sistema después de cada dosis, para asegurar la administración completa del fármaco al paciente, y si el paciente está recibiendo dos o más fármacos al día, el volumen total de fluido perfundido puede incrementarse.¹⁵
- Si el sistema no se lava y se emplea un filtro en línea, puede perderse hasta un 20% del fármaco.¹⁵

Cada vez que se administra un medicamento, se debe perforar el punto de inyección con lo que se incrementa el riesgo de contaminación.¹⁵

Existe un mayor riesgo de toxicidad asociada con un pico de concentración sérica demasiado elevada.¹⁶

1.2. Perfusión intravenosa

La **perfusión IV continua** es un método habitual muy común para la administración de fármacos IV. Así, una vez adicionado el medicamento al fluido IV de gran volumen para constituir la mezcla IV a perfundir, se conectan envase y catéter mediante un equipo de perfusión y se administra, generalmente por gravedad "gota a gota", de forma continuada. El fármaco alcanza niveles plasmáticos constantes.

Cuando la perfusión del fármaco transcurre durante intervalos espaciados de tiempo y la solución se infunde en un periodo de 15 a 120 minutos se acepta la denominación de **perfusión IV intermitente**. Se utilizan diferentes sistemas para llevar a cabo una terapia IV intermitente:

El **sistema de perfusión intermitente con equipo en Y** supone el empleo, como recipiente del medicamento, de *minienvases* (bolsas o botellas de 50-100 mL). Es uno de los sistemas más utilizados. La solución reconstituida del medicamento (aditivo) se adiciona en el minienvase (mezcla IV) y se conecta, por una línea IV secundaria, al sistema de perfusión primario del fluido intravenoso, que puede o no disponer de válvula sensible a la presión. El minienvase se localiza en una posición más alta que el del envase del fluido primario; de este modo la válvula se cierra e impide el paso del fluido primario, por lo que deja que circule la solución contenida en el minienvase.¹⁴

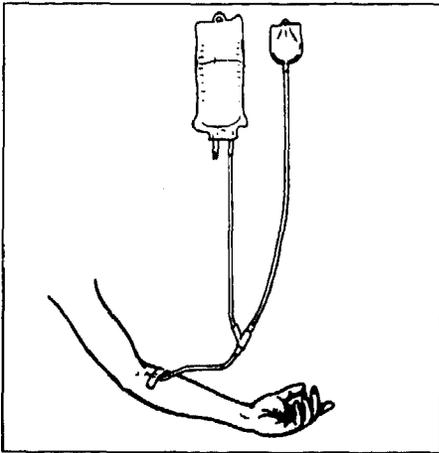


Figura 4.2. Administración IV con equipo en Y y empleo de minienvase.¹⁶

Aunque existen pocos datos que lo documenten, se estima que puede resultar un sistema beneficioso para el paciente por darse menor incidencia de infección nosocomial y menores errores en la velocidad de administración.¹⁷ En realidad, en la mayoría de los hospitales se adopta este sistema por cuestiones económicas o de comodidad de uso.

Se han detectado algunos problemas que están asociados con el empleo de minienvases.¹⁷

- Su uso causa, con frecuencia, una sobredosificación de fluidos (hasta un volumen adicional de 1200 mL). En pacientes críticos este factor puede resultar de gran importancia.
- Sólo se dispone de minienvases de cloruro sódico 0,9% y dextrosa 5%. Al emplear cloruro sódico puede darse un exceso de fluido extracelular (no agua libre) y, en el caso de la dextrosa 5%, un exceso de agua libre (todo agua libre).
- En muchas ocasiones no se suele tener en cuenta la tonicidad de las mezclas resultantes. Hay datos de osmolaridades mayores a 700 mOsm/kg para algunas de estas preparaciones de antibióticos. Muchas de estas soluciones se podrían reformular, utilizando cloruro sódico 0,45% o agua para inyección como diluyentes, para que fueran razonablemente isotónicas (250-400 mOsm/kg).
- Si se emplea el equipo de perfusión IV primario con válvula sensible a la presión, se agrava el problema de la hipertonicidad ya que, mientras se infunde la solución de la minibolsa, se corta temporalmente el paso del fluido primario.

En respuesta a la necesidad de métodos más simples, cómodos y económicos para la administración de fármacos, la industria farmacéutica ha desarrollado varios sistemas para reemplazar o minimizar el uso de minienvases. Se trata de sistemas que se denominan “*listos para usar*”, y pueden definirse como sistemas que requieren muy poca o ninguna manipulación previa a su administración:¹⁸

a) **Minienvases premezclados.** Se dispone de un número de medicamentos que la industria farmacéutica suministra premezclados en minienvases (tanto de vidrio como de plástico) para su administración IV (p.e.: lidocaína, metronidazol, gentamicina, ranitidina, ciprofloxacino, ofloxacino). Algunas de sus características son:

- Si se obtienen buenos precios, pueden resultar coste-efectivos.
- Reducen la carga de trabajo (no es preciso realizar la mezcla).
- Probablemente disminuye el número de mezclas que deben desecharse.
- Se pierde flexibilidad a la hora de seleccionar el volumen final de la mezcla y el diluyente.

b) **Viales de mayor tamaño.** El vial, con el medicamento liofilizado, tiene volumen suficiente para recibir el diluyente apropiado (25-75 mL). El vial, una vez diluido, se etiqueta, y entonces, se dispensa, refrigera o congela para un uso posterior. Entre las características que presentan están:¹⁷

- Normalmente no encarece la compra del medicamento.
- Su preparación se realiza en una sola etapa (adición del diluyente).
- Puede ajustarse la osmolaridad seleccionando diferentes diluyentes.
- Si se requiere una restricción de fluido, puede ajustarse el volumen de dilución.
- El sistema de administración es similar al del minienvase. Suele ser necesario toma de aire en el equipo de perfusión.¹⁸

c) **Sistemas ADD-Vantage® y Add-A-Vial®.** Se trata de una minibolsa con diseño especial. El fármaco, en su vial especial, se inserta a la minibolsa. Para reconstituir el fármaco, se presiona el tapón del vial desde el exterior de la minibolsa. El diluyente del minienvase fluye dentro del vial, y el fármaco se reconstituye por una serie de inversiones del conjunto.¹⁸ Las características de estos sistemas son:¹⁷

- Puede resultar coste-efectivo, si se consideran las mezclas no desechadas y el ahorro en cuanto a carga de trabajo.
- En cierta manera, el control del programa de mezclas revierte a enfermería.
- Los medicamentos deben estar disponibles en un vial especial. Este hecho puede suponer una limitación del sistema.
- La tapa del vial puede quedarse en el minienvase, con la consiguiente preocupación que puede crear en los pacientes que lo observen.
- Se puede producir el hecho de que se administre el medicamento sin haber realizado una correcta reconstitución del mismo.¹⁹

d) **Minibolsa con adaptador de vial.** Sistema similar al anterior (Figura 4.3). Su limitación reside en que únicamente se puede emplear con viales estándar de 20 mm de cápsula. Facilita la preparación de mezclas de baja estabilidad ya que posibilita la preconexión del vial sin realizar la mezcla hasta el momento de su utilización.

Si se comparan los sistemas "listos para usar" y la preparación de mezclas en minienvases, los primeros pueden reducir costes, en términos de carga de trabajo y material fungible (agujas, jeringas) y en el número de envases.¹⁸ En diversos estudios que han tenido en cuenta estos factores, determinan que se trata de sistemas coste-efectivos.^{20, 21} Por otro lado, la calidad, en cuanto a esterilidad, precisión, y seguridad, asociada a los sistemas listos para usar y sistemas premezclados, es mayor que de la

los productos parenterales que se preparan en minienvases.¹⁸

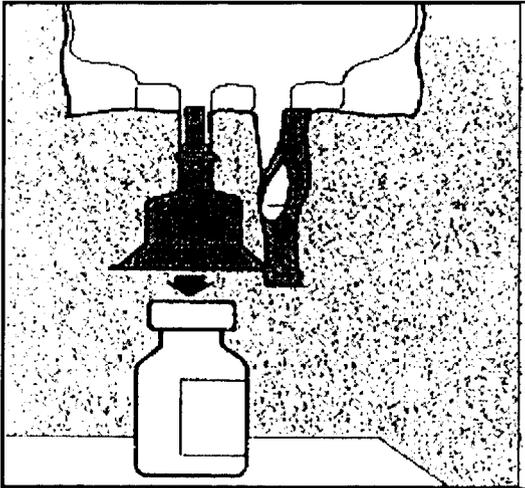


Figura 4.3. Minibolsa con adaptador de vial.

Los inconvenientes que se encuentran son el no ofrecer flexibilidad para cambios de volumen o de concentración del producto final. Representa un problema en pacientes a los que se debe realizar una restricción de volumen y puede relacionarse con la alta frecuencia de flebitis descrita con la perfusión de sistemas premezclados,²² aunque, en la actualidad, la mayoría de los productos son isoosmóticos o isotónicos.¹⁸

La utilización de **equipos para administración parenteral con cámara de medida** (bureta dosificadora) es un método utilizado principalmente en la administración de fármacos IV en pediatría. El equipo de perfusión dispone de una cámara o bureta dosificadora donde se puede adicionar la solución con el medicamento a administrar (Figura 4.4). La ventaja principal reside en la comodidad de uso. Además, el volumen en el cual el fármaco se diluye puede ajustarse con facilidad.

No es un sistema práctico para velocidades de flujo bajas. Con frecuencia se debe incrementar la velocidad de flujo para administrar el fármaco y enlentecer la velocidad de la fluidoterapia, entre administraciones de fármacos, para obtener el volumen de perfusión deseado. Puede darse el error de disminuir la velocidad cuando la cámara volumétrica está vacía, pero parte del fármaco está todavía en el equipo de perfusión.¹⁶

En los **sistemas de jeringa por gravedad** el fármaco se introduce en una jeringa desechable que, a su vez, se introduce en un dispositivo de plástico. El equipo de perfusión libera el fármaco por gravedad (60 gotas/mL) en el tiempo que se desee. El sistema debe colocarse en una posición más alta que el envase primario para que la válvula sensible a la presión, de la línea primaria, se cierre hasta que la jeringa se vacíe. Algunas de las características de este método de administración son:¹⁷

- Es relativamente barato.
- Requiere un proceso de dos etapas para su dilución.
- Puede, probablemente, usarse en todas las áreas del hospital, incluido cuidados intensivos, ya que el volumen y osmolaridad pueden controlarse.
- Es completamente compatible con sistemas comunes de minienvases por gravedad.

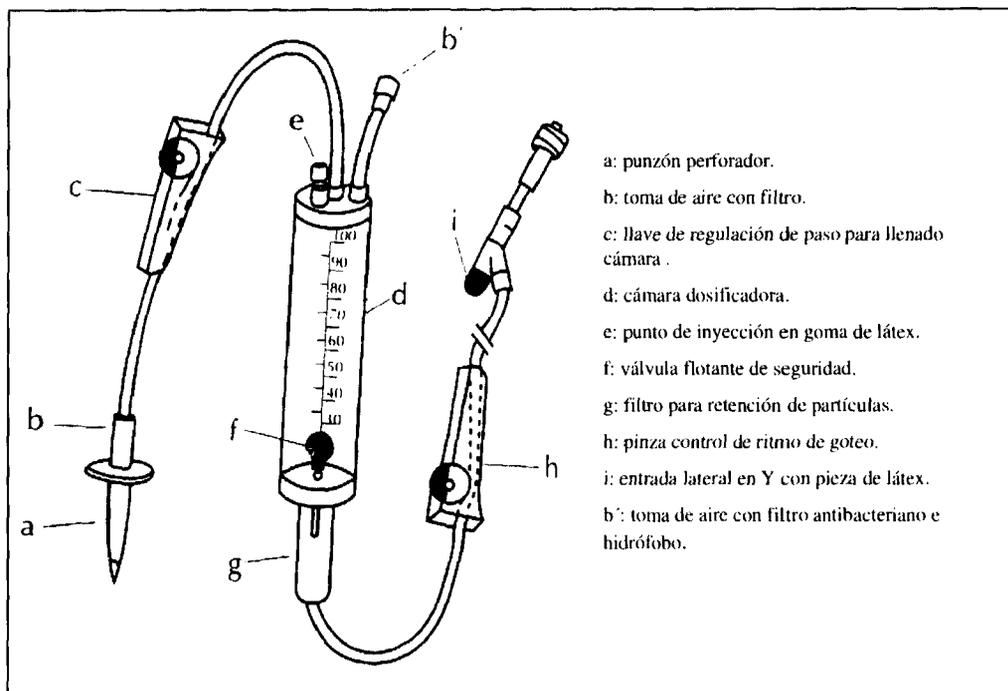


Figura 4.4. Equipo de perfusión con cámara de medida.

Los **sistemas de liberación controlada** (CRIS: controlled-release infusion system) se caracterizan por acoplarse al vial original, con el fármaco reconstituido; éste a su vez, se inserta sobre el receptáculo de un equipo de perfusión IV primario. El sistema posibilita el paso del fluido primario por el vial y su vuelta a la línea de perfusión primaria. De esta forma se administra el medicamento. El tiempo de perfusión dependerá de la velocidad de flujo del sistema primario. Se recomiendan velocidades de flujo entre 60 y 125 mL/h. Las características de este sistema son:^{17,23}

- El coste va a depender del coste del equipo de perfusión primario y el vial vacío.
- El diámetro de la cápsula del vial debe ser 20 mm para que encaje con el sistema.
- Resulta difícil determinar si el fármaco ha sido administrado, a menos que sea coloreado, puesto que queda algo de fluido en el vial a lo largo de toda la perfusión.
- La velocidad de administración varía con la velocidad de flujo de la línea primaria de perfusión.
- El fármaco debe estar en forma líquida (reconstituido) antes de que el vial se inserte en el sistema.
- La gravedad específica del fármaco (densidad) puede afectar a la velocidad de liberación del fármaco.

El **sistema de administración IV retrógrada** es un sistema que permite reducir el número de accesos venosos y minimizar la administración de fluidos. Se conecta al equipo de perfusión, un tubo con una llave de paso en cada extremo. El fármaco se introduce, a través de la llave de paso más próxima al paciente (contra el flujo de la vía IV), desplazando en el tubo una cantidad igual del fluido de mantenimiento a otra jeringa colocada en el otro extremo del tubo. Una vez que el fármaco está en el sistema, la línea IV se abre y el fármaco fluye hacia el paciente (Figura 4.5).^{16,24,26}

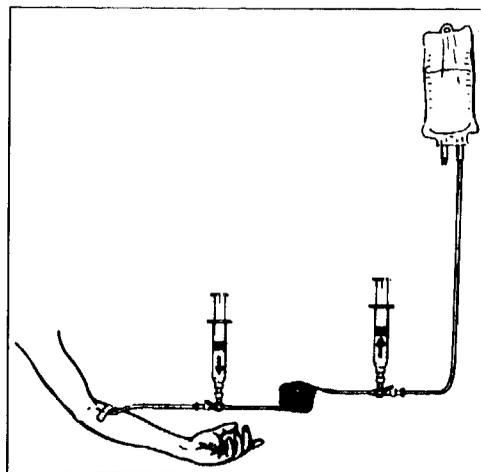


Figura 4.5. Sistema retrógrado de administración IV de medicamentos.¹⁶

II. SISTEMAS DE CONTROL DE LA VELOCIDAD DE FLUJO

La forma menos costosa y sencilla para infundir terapia IV es el empleo de estos sistemas o **equipos de perfusión IV convencionales** por gravedad; sin embargo, pueden resultar inadecuados para infundir las soluciones con regularidad, seguridad y precisión, y se requiere una monitorización continua de la perfusión, por parte de enfermería, para conseguir una fiabilidad limitada.

Las características principales de estos equipos de perfusión IV son: los productos son desechables (de un solo uso), deben tener estéril la superficie de contacto con el fluido para evitar inducir bacteriemias en el paciente, deben estar libres de pirógenos y partículas materiales, y tener la capacidad de mantener velocidad de flujo constante.

Un equipo de perfusión IV básico suele constar de las siguientes partes:

- Punzón para realizar la conexión al envase o recipiente que contiene el fluido.
- Filtro de aire antibacteriano que, generalmente, tiene un tapón de cierre. Sirve para igualar presiones entre el exterior y el interior del envase con lo que se consigue que fluya constantemente el líquido a infundir. Es necesario este filtro cuando se emplean envases de cristal.
- Cámara de goteo para la purga del sistema con un dosificador de gotas. En muchos casos contiene un filtro para partículas de 15 μm .
- Tubo de perfusión de distintas longitudes.
- Sistema regulador de goteo, que modifica el diámetro interno del tubo para regular la velocidad de flujo (goteo).
- Adaptador para inyección intermitente.
- Conexión Luer o Luer Lock para adaptarla a la vía IV

Estos equipos están calibrados de tal manera que 1 mL equivale a 20 gotas y en el caso de los microgoteros, a 60 gotas. Para regular la velocidad de perfusión se debe hacer la conversión del número de gotas a los mL/h que se desea administrar.

La magnitud del problema de establecer y mantener una velocidad constante de flujo para la administración de fluidos de gran volumen, es visible cuando se examinan los múltiples factores (unos relativos a paciente y otros al equipo) que pueden alterar el volumen de la gota que se forma, así como la velocidad de goteo:^{13, 14, 25}

- Cambio de la altura del recipiente con el fluido IV en relación al paciente. El fluido IV cae por la presión debida a la gravedad. Si se coloca el fluido a 90 cm del punto de punción, la presión impulsora será de 66 mm Hg. Cambios en esta distancia modificarán el flujo.
- Variación en el tamaño del orificio de la cámara de goteo. Los orificios de las diferentes cámaras de goteo deben ser idénticos para que el flujo sea constante y reproducible. La producción en masa de estos equipos de perfusión hace que algu-

nas veces no tengan gran precisión. Esto hace que se pueda esperar una variación en el flujo.

- Naturaleza del fluido IV: viscosidad de la solución. Los equipos se calibran con agua destilada. Cuando el fabricante establece que el equipo libera un número específico de gotas por mL, no considera la viscosidad de las soluciones. Esta viscosidad afectará al tamaño de la gota que se forma (y por tanto al volumen). Por ejemplo, la Nutrición Parenteral tiene una mayor gravedad específica y se formarán gotas de menor tamaño que con otras soluciones IV
- La naturaleza del tubo puede dar lugar a “creeping” o “cold flow”: el tamaño de la luz puede continuar cambiando después de que el sistema regulador se haya fijado en una posición.
- Las propiedades mecánicas del aparato regulador de flujo pueden dar lugar a una apertura espontánea (“deslizamiento”).
- Equipos auxiliares. Por ejemplo, filtros al final del sistema IV pueden provocar una velocidad de flujo descendente o incluso que éste cese.
- Variaciones en la presión vascular del paciente.
- Movimientos del paciente, extremidad o zona corporal donde se encuentra la vía
- Formación de coágulos en la luz de la cánula. Pueden alterar o parar completamente el flujo.
- Cambio de presión en el envase IV
- Velocidad de flujo. Un incremento de la velocidad de goteo provoca la formación de gotas más grandes (el tamaño puede llegar a incrementarse hasta un 25%).
- Obstrucción de la toma de aire.
- Desviación de la cámara de goteo.
- Cambios en la temperatura del fluido IV
- Administración de soluciones múltiples en Y.
- Preparación de la persona que monitoriza el sistema para realizar los cálculos y el recuento de gotas con seguridad.

La falta de precisión en estos sistemas de perfusión ha originado la aparición de diversos sistemas de regulación de goteo con el fin de evitar, al menos en parte, las limitaciones que presentan y conseguir una administración de fluidos lo más segura y precisa posible.

Algunos de los dispositivos empleados son los siguientes:^{13, 27}

- *Pinza deslizante.*
- *Sistema de pinza de tornillo.* Al girar el sistema, la punta del tornillo aplica una presión sobre un lado del tubo y el flujo se entelrece por disminución de la luz del tubo. Alguno más sofisticado tiene, en la zona del sistema regulador, un segmento de tubo multilumen de silicona.
- *Sistema de rodillo.* El efecto es el mismo que con el sistema de tornillo. El deslizamiento de la rueda o rodillo por un plano inclinado provoca una contracción del tubo y con ello un cambio en la velocidad de goteo.
- *Rodillo de precisión (sistema "Clair").* Es un sistema convencional de rodillo, que difiere en que la rueda se desliza a través de un plano no inclinado. El tubo se comprime a lo largo de un canal en forma de V.
- *Controlador de tipo dial.* Integrados por dos piezas inseparables que giran una dentro de la otra y en el interior presentan un canal en bisel. El giro del dispositivo provoca el estrangulamiento del paso del fluido.²⁷ Disponen de una escala de caudal en mL/h.
- *Regulador de precisión de flujo continuo.* Se basa en el paso del fluido a través de un microorificio. El dispositivo proporciona una velocidad de flujo determinada (por ejemplo 21, 63 ó 125 mL/h).
- *Equipos de flujo restringido.* Poseen un dispositivo que limita la velocidad máxima de perfusión.

II.1. Aparatos electrónicos

La inexactitud puede ser un factor importante y causar graves complicaciones en ciertas circunstancias en las que es preciso garantizar una regularidad en la perfusión que se realice: empleo de determinados fármacos, condiciones o situaciones concretas del paciente, entre otras.

Muchos fármacos deben infundirse a una velocidad controlada para evitar efectos adversos y asegurar una concentración en sangre predecible.²⁵ Esto ha llevado al desarrollo de instrumentos electrónicos de perfusión que persiguen la obtención de una administración IV segura y precisa. La clasificación más genérica de los aparatos electrónicos para la perfusión IV los divide en controladores y bombas.¹⁶

Los **controladores** dependen sólo de la gravedad para proporcionar la fuerza para que la solución se infunda. La regulación del flujo se controla normalmente por re-

cuento electrónico de gotas. Como el tamaño de las gotas de los diferentes fluidos varía, el volumen administrado también varía y por eso se denominan no volumétricos. También existen controladores volumétricos.

Las **bombas de perfusión** difieren de los controladores en que ejercen una presión positiva para impulsar la perfusión y así superar la presión venosa y las diversas resistencias que se produzcan en la línea de perfusión. Son, generalmente, volumétricas, ya que las bombas cuentagotas ya no se fabrican. Están calibradas en mL/h, tienen un amplio margen de flujos de perfusión, son muy precisas y están dotadas de diferentes alarmas (detector de aire, preselector de volumen, lectura de volumen infundido, flujo de mantenimiento de vena abierta al final de la perfusión...).

Una clasificación convencional de las bombas de perfusión electrónicas se basa en su mecanismo de operación o bombeo. Nos encontramos con tres tipos principales:

- **Bombas peristálticas.** Son sistemas que infunden el fluido con la ayuda de una leva giratoria (sistema peristáltico giratorio) o con un resalte en forma de dedo (sistema peristáltico lineal). Cuando la leva o el resalte presionan sobre el tubo que contiene el fluido, éste es propulsado por su trayectoria de una forma similar al peristaltismo gastrointestinal. Las bombas actuales suelen disponer del sistema peristáltico lineal, que junto al desarrollo de microprocesadores para el control del proceso favorece la consecución de un flujo continuo y preciso. La mayoría de estas bombas tienen una precisión del $\pm 5-10\%$.⁹
- **Bombas de cassette.** Constan de un infusor electrónico y de un equipo de perfusión desechable con una cámara de bombeo (cassette). El cassette desechable se engancha y desengancha del infusor fácilmente. Requieren dos ciclos separados y secuenciales para infundir el fluido: un ciclo de llenado de la cámara con el volumen preciso y un ciclo de administración para infundir el volumen medido.⁹ Pueden estar accionados por pistón o por diafragma.
- **Bombas de jeringa.** En la mayoría de las bombas de jeringa, un mecanismo electrónico mueve el émbolo de una jeringa desechable. La velocidad del motor determina la proporción de movimiento del émbolo y, por tanto, la velocidad de perfusión. Provocan una liberación continua y pulsátil del fluido. Normalmente proporcionan una mayor precisión que las bombas peristálticas ($\pm 2-5\%$).⁹ Existen dos modalidades, unas de diseño básico con funciones elementales y otras de diseño más sofisticado.²⁸

Las bombas de jeringa representan una alternativa muy interesante, e incluso coste-efectivas, a la administración intermitente de medicamentos en minienvases.²⁵ Se consigue una administración más precisa y con menos variaciones que con los equipos gravimétricos. Además, permite infusiones a bajas velocidades (5 mL/h o menor), el empleo de velocidades de flujo fraccionales (0,1 mL/h) y la perfusión de bajos volúmenes fluidos. Esto hace que se vea incrementado su empleo en unidades de dolor, cuidados neonatales y coronarios.²⁹

Los avances en la tecnología de la perfusión, así como en la informática, han llevado a la aparición de bombas de perfusión con una gran sofisticación en su programación y operaciones de funcionamiento. Algunos ejemplos de estos equipos son:¹⁶

- Las bombas PCA (para control de la analgesia por el paciente).
- Bombas con programación de múltiples velocidades de flujo.
- Bombas para dosis múltiples. Si la estabilidad del medicamento lo permite, posibilitan programar la administración de múltiples dosis desde un único envase.
- Bombas para perfusión de múltiples soluciones, bien sea por equipos de administración separados o por un único sistema de administración. Se pueden encontrar bombas diseñadas para la administración de 2, 3, 4 y hasta 10 soluciones distintas.

III. CRITERIOS DE EMPLEO DE LOS APARATOS DE CONTROL DE LA PERFUSIÓN

Los aparatos de perfusión electrónicos son reconocidos como un método necesario para la mejora de la terapia IV: reducen muchos de los problemas que se producen con las infusiones IV y mejoran la eficiencia del personal de enfermería.³⁰ En todo momento debe evaluarse correctamente su forma de empleo y, así, se puede considerar de gran importancia la correcta administración de infusiones de larga duración, la nutrición parenteral o los fármacos cuya irregularidad en el ritmo de administración puede ser causa de graves complicaciones.²⁸ Pero la identificación de las situaciones en las cuales los aparatos de perfusión deben usarse ha sido determinada más por intuición que por una aproximación científica.³¹

Cuando se plantea una política general de administración IV de medicamentos, ésta debe contemplar todo el proceso (Tabla 4.3) y considerar el desarrollo de normas de empleo de los sistemas y bombas de perfusión IV que incluirá información relativa a:³²

- Descripción de los sistemas y aparatos de perfusión seleccionados para su empleo en el centro.
- Qué equipo o aparato utilizar para un fármaco concreto.
- Qué fármacos, soluciones IV o situaciones no requieren el empleo de aparatos de perfusión.
- Situaciones, enfermedades o procedimientos que requieren aparatos específicos.
- Definición de las prioridades de uso, cuestión de difícil respuesta.

<p>➔ <u>Guías administración</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✗ reconstitución ✗ dilución ✗ método de administración ✗ velocidad administración ✗ dosis convencionales 	<p>➔ <u>Sistemas y bombas de infusión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✗ sistema - fármaco ✗ sistema - situación clínica ✗ prioridades de uso
<p>➔ <u>Cambios equipos de infusión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✗ cambio de sistemas ✗ procedimientos de manipulación 	<p>➔ <u>Filtros en línea</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✗ tipos de filtros ✗ características generales ✗ normas de empleo

Tabla 4.3. *Política de perfusión de fármacos IV: aspectos a considerar*

III.1. Evaluación de los aparatos de control de la perfusión electrónicos

Es importante tener unos criterios de evaluación y selección (tanto objetivos como subjetivos) que pueden estar basados en estándares propuestos por diversas asociaciones, así como consideraciones particulares del hospital.^{9,28,30} Algunos de estos criterios son:

- sistemas de alarma (oclusión, vaciado de bolsa, mantenimiento de línea abierta, nivel bajo de batería, avería etc.).
- ajustes de velocidad de flujo.
- indicadores: de funcionamiento, de lectura en pantalla,.
- sistema de alimentación eléctrica, autonomía.

- servicio de mantenimiento: reparación de averías, revisiones
- complejidad del manejo.
- sistemas compatibles, coste.
- nivel de ruido.

Pero las dos consideraciones más importantes para evaluar las bombas de perfusión son:

a) Precisión. Informa del perfil de salida de fluido que proporciona el aparato de perfusión. Básicamente son dos los aspectos que hay que conocer a este respecto: la continuidad en el flujo y la desviación máxima con respecto al flujo fijado.

La *continuidad de flujo* vendrá dada por la gráfica que enfrenta el flujo instantáneo con el tiempo de perfusión. Su trazado determinará si es una administración continua, cíclica, con periodos carentes de flujo o si la bomba succiona durante algún momento del ciclo de bombeo.

La *desviación máxima* con respecto al flujo fijado se obtiene de los mismos datos, pero solamente después de que la bomba haya estabilizado su producción de salida (generalmente en la segunda hora de funcionamiento). Se representa el porcentaje máximo de error en el flujo (por encima y/o por debajo del flujo fijado).

b) Límite de presión de alarma. Con una bomba de perfusión lo que se pretende es que sea una fuente de flujo constante. Una bomba es un instrumento capaz de generar presión positiva creciente únicamente cuando es necesario (en respuesta a aumentos del flujo de perfusión o resistencia del sistema), pero, de no ser así, infunde con presión muy pequeña. Una bomba ejerce esa presión hasta un límite en que se dispara una alarma. Esa presión es la que se conoce como límite de presión de alarma.

Cuanto mayor sea la diferencia entre la presión venosa y el nivel al cual se haya fijado el límite de presión, más tiempo tardará el instrumento en disparar la alarma. Así una presión de trabajo elevada de estas bombas puede dar como resultado complicaciones (como un incremento en la gravedad de las extravasaciones) y puede retrasar la detección de oclusiones, que una vez resueltas puede provocan la perfusión de un bolo importante del fármaco.^{9,28}

Por tanto, la presión de trabajo y el límite de presión de alarma son unos parámetros muy importantes a la hora de evaluar estos aparatos; y según estén diseñados se pueden encontrar:

- **Bombas de presión fija.** Tienen una presión de alarma determinada e inamovible,

fijada por el fabricante. Pueden superar los 1000 mm Hg. Éste es un nivel de presión evidentemente alto cuando lo comparamos con las presiones dentro del sistema venoso, que suelen oscilar entre 10 y 30 mm Hg.

- **Bombas de presión seleccionable.** Disponen de varios valores de presión de alarma predefinidos que pueden ser elegidos. Algunos instrumentos pueden ajustarse internamente, solamente por servicios técnicos especializados. Otros son seleccionables por el usuario, ofreciendo varios límites de presión por pasos.
- **Bombas de presión variable continua.** Permiten seleccionar la presión de alarma con incrementos de 1 mm Hg. De esta manera, se puede fijar el límite de presión de alarma basándose en la aplicación terapéutica, en la apreciación de las enfermeras sobre los riesgos de la vía y venipuntura y en las necesidades individuales de los pacientes.

Resulta aconsejable que en la bomba se pueda leer la presión de trabajo y fijar el máximo de perfusión, que estará en función de los fármacos, la velocidad de flujo y la vía de acceso elegida.²⁸

III.2. Clasificación fármaco-sistema de perfusión

Para la determinación del uso de los aparatos de perfusión se pueden emplear diversas guías generales, las situaciones clínicas específicas y los fármacos que deben administrarse con dichos aparatos.^{14,28} Se puede, de otra forma, emplear una metodología que permita la combinación de la bomba de perfusión y la solución IV para ser tratada como un único sistema de perfusión. Supone tener en cuenta el nivel de riesgo global de la perfusión que vendrá dado por el tipo de bomba a emplear, el nivel de riesgo de la solución del medicamento a infundir y la situación clínica del paciente.

La clasificación de las bombas de perfusión, en base a unos criterios de funcionamiento (Tabla 4.4), permite clasificación en categorías de riesgo.³³

Tabla 4.4. *Criterios de funcionamiento bombas perfusión*³³

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Precisión a corto plazo2. Precisión a largo plazo3. Bolo consecutivo a la eliminación de una oclusión4. Alarma de presión de oclusión5. Tiempo de alarma tras una oclusión |
|---|

Los criterios 1 y 2 expresan las variaciones dinámicas, que son una característica intrínseca de los mecanismos de las bombas. Los riesgos resultantes serán, por tanto, *riesgos intrínsecos*. Además estarán la situación clínica del paciente, la actividad terapéutica del fármaco prescrito y las recomendaciones específicas para su administración. La naturaleza química del medicamento (respuesta tóxica del fármaco en extravasación) y sus características farmacológicas (respuesta tóxica de eliminación de bolo después de oclusión) componen los *riesgos extrínsecos* de la perfusión.³³ La combinación de estos riesgos o entornos de riesgo junto con los criterios de funcionamiento expuestos, posibilitan la clasificación de fármacos de riesgo para perfusión IV. Esto permite emparejar el fármaco IV a infundir con la bomba de perfusión más adecuada.

En base a estos criterios se realizó una clasificación de los fármacos por el sistema de control de la perfusión recomendado.³⁴

Grupo I. Fármacos denominados de alto riesgo. Se incluyeron los fármacos que por sus características irritantes o vesicantes precisan ser infundidos con la mayor seguridad y precisión.

Grupo II. Fármacos denominados de bajo riesgo. Se incluyeron los fármacos en los cuales la precisión de la perfusión no es tan esencial para su actividad terapéutica, los que no son problemáticos si aparece extravasación o por la concentración en la perfusión. Se indicó la necesidad de valorar la situación hemodinámica del paciente o el nivel de cuidados que precisa, así como la concentración a que se infunde el fármaco, que puede llevar a la perfusión a ser de alto riesgo (fármacos alto/bajo riesgo).

En todo caso, la propuesta de guías permite conseguir una terapia intravenosa más segura y correcta, así como coste-efectiva.

IV. TERAPIA IV DOMICILIARIA

El empleo de la terapia IV en pacientes ambulatorios es una práctica cada vez más extendida y presenta ciertas características que deben ser tenidas en cuenta. Tiene gran importancia en el tratamiento quimioterápico del paciente oncológico, tanto paliativo como curativo (por ejemplo, 5-fluorouracilo y FUDR en perfusión continua), así como

para tratamientos antibióticos IV perfundidos de forma intermitente (por ejemplo: fibrosis quística). Asimismo, se puede utilizar en el control de la analgesia por el paciente (bomba PCA) y en la nutrición parenteral domiciliaria.³⁵

El elevado número de aparatos de control de la perfusión y equipos desechables que se encuentran comercializados obliga a realizar una selección, que no debe ser arbitraria, donde se tendrán en cuenta:^{10,35}

- Tipo y complejidad del régimen de perfusión a realizar.
- Rango de velocidades disponibles para cada aparato.
- Presencia/ausencia y sofisticación de los sistemas de alarma.
- Tamaño del reservorio disponible para cada aparato de administración y control de la perfusión.
- Características de seguridad, que incluyan la protección del reservorio frente a posibles daños.
- Necesidades del paciente: nivel de intervención, bienestar (consideraciones de dimensiones y peso del equipo), actividad física etc.
- Coste y disponibilidad de los aparatos y material fungible.

En este sentido, los aparatos de perfusión desechables han revolucionado la administración de la perfusión domiciliaria.³⁶ Los pacientes, a menudo, los prefieren porque son: más ligeros, permiten mayor movilidad, son más fáciles de ocultar (los pacientes pueden recibir la medicación durante su actividad diaria normal), y por su simplicidad, aprenden cómo usarlos con mayor rapidez que los aparatos convencionales.³⁶ Además de la selección del sistema más apropiado para la perfusión de medicamentos, deben resolverse los problemas que surgen en cuanto a estabilidad y compatibilidad, ya que se dan circunstancias muy diferentes a las de la administración del fármaco en el ámbito hospitalario. Debe darse solución a problemas concernientes a:³⁵

- Compatibilidad del fármaco con el sistema de perfusión seleccionado: jeringa, reservorio de bomba, elastómero, ... (se tendrán en consideración la interacción del medicamento con el material del equipo, lixiviación del plástico por el fármaco o productos de la formulación, absorción o adsorción del fármaco con el equipo etc.).
- Estabilidad durante el transporte y conservación de la mezcla IV preparada.
- Estabilidad del fármaco durante periodos largos de tiempo (por ejemplo, 5-7 días

de perfusión continua).

— Estabilidad en las condiciones de administración (por ejemplo, temperatura de 34-37° C bajo la ropa del paciente etc.).

Todos estos parámetros de estabilidad y compatibilidad son un requisito previo para que la terapia IV domiciliaria, con un fármaco y equipo de perfusión concreto, se pueda poner en práctica.

IV.1. Sistemas de control de la perfusión en terapia IV domiciliaria

La administración intravenosa directa y el empleo de minienvases para la perfusión IV intermitente pueden ser unos métodos económicos y fiables en la terapia domiciliaria. A la mayoría de los pacientes se les puede enseñar a usar un sistema de minienvase y realizar un control de la velocidad de perfusión con un regulador de flujo convencional. Un inconveniente de este sistema es que se restringe la movilidad del paciente durante la perfusión, ya que el minienvase debe estar en una posición elevada y relativamente quieto. Dependiendo del número y duración de las infusiones por día, esto puede resultar limitante.¹⁰

Poco a poco han surgido una serie de sistemas y aparatos de control de la perfusión con una serie de características que los hace muy deseables, en determinadas circunstancias, para su empleo ambulatorio. Todos son adecuados para la auto-administración de medicamentos por el paciente en forma de perfusión continua o intermitente (3 ó 4 veces por día).

A) Sistemas de perfusión con dispositivo de restricción de flujo

Estos sistemas son muy indicados para la perfusión de medicamentos a nivel domiciliario, tanto si se requiere una perfusión continua de los mismos como si se realiza una administración intermitente, ya que son de fácil manejo y proporcionan gran libertad de movimientos al paciente.³⁷ Su característica general es que constan de un dispositivo que ejerce presión sobre el émbolo de una jeringa (infusores de jeringa mecánicos) o sobre un reservorio del medicamento (sistemas elastoméricos y bombas mecánicas). La velocidad de flujo de estos sistemas está controlada por un tubo regulador del flujo (capilar calibrado en el tubo de perfusión).

Así, los **infusores elastoméricos** están constituidos por un globo hinchable o *reservorio* de poliisopropeno, silicona u otro material, rodeado por una *carcasa protectora*, con un punto de inyección para la entrada de la medicación (Figura 4.6).³⁶

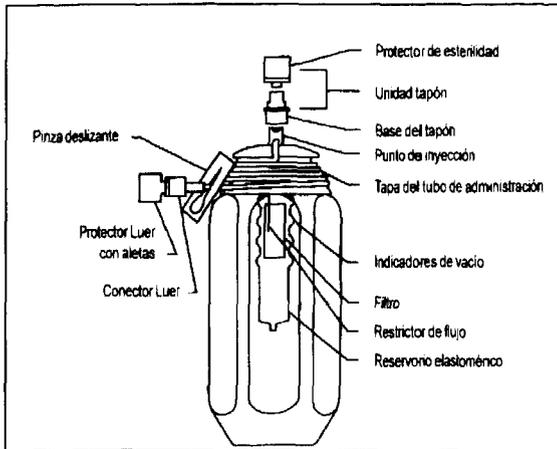


Figura 4.6. *Infusor elastomérico.*

La presión que crea el reservorio hinchado fuerza a la dilución del medicamento, a través del tubo de perfusión, hacia la vía IV del paciente. La velocidad de flujo se controla por un *restringidor de flujo* que consiste en un capilar calibrado, de pequeña luz y longitud, que limita, para cada infusor elastomérico concreto, la velocidad de perfusión a un valor determinado.⁹

Se dispone de sistemas de distintos volúmenes de capacidad (65-275 mL) y distintas velocidades de flujo (0,5-250 mL/h) que permiten una amplia variedad de tiempos de perfusión (30 minutos a 7 días).

Ventajas que presentan estos sistemas:

- Son sistemas idóneos para controlar la velocidad de perfusión, siempre que ésta no sea crítica.³⁶
- No precisan una fuente externa de energía (batería).³⁸
- Son fáciles de usar. El aprendizaje de su funcionamiento es inmediato por parte del paciente, ya que las manipulaciones a realizar son muy simples: insertar el equipo en el acceso venoso, desclampar el sistema y la medicación se infunde.^{10,39}
- Proporciona libertad de movimientos al paciente, que le posibilita seguir desarrollando una actividad normal.^{10, 38}
- Se pueden ocultar debajo de la ropa, por lo que resultan discretos y atractivos para el paciente.^{9,38}
- La disponibilidad de diferentes velocidades de flujo y volúmenes los hace muy apropiados para un amplio rango de medicaciones y tiempos de perfusión.¹⁰
- El grado de aceptación, por parte de los pacientes y enfermeras, es alto: lo prefieren a la bomba de jeringa y el minienvase.^{36,39}

En cuanto a las desventajas que presentan:

- Pueden resultar muy caros, especialmente cuando se usan para dos o más dosis al día. Puede suponer un coste 2-3 veces mayor que una perfusión estándar con minienvase y equipo de perfusión.^{36,40}
- Requieren mayor tiempo para su preparación que los minienvases o las jeringas: preparar los infusores conlleva etapas como desclampar la línea, llenar el reservorio (es preciso ejercer cierta presión) y purgar el equipo.¹¹
- Aunque la presión que ejerce el reservorio es, en principio, suficiente para mantener la velocidad requerida durante toda la perfusión y se consigue una alta seguridad y precisión, en situaciones de acceso venoso restringido puede no ser suficiente y da lugar a un tiempo de perfusión prolongado.¹⁰

La precisión que se establece para estos sistemas, en cuanto al mantenimiento de la velocidad de flujo, está en un $\pm 15\%$,^{36,37} que es sustancialmente mayor que la determinada para los aparatos electrónicos (2 a 10%).⁹ Sin embargo, hay descritas variaciones en la velocidad de perfusión que están fuera de las especificaciones del fabricante.³⁹

Se ha dado el caso de pacientes que han manifestado, en ocasiones, una prolongación del tiempo de perfusión, algunas veces hasta dos veces el establecido por el fabricante. Este problema se ha observado con gran variedad de medicamentos, pero ocurre con mayor frecuencia con la anfotericina B.⁴⁰ Algunos de los factores que pueden contribuir a esta situación son:

- **Efecto de la temperatura** (refrigeración). Cuando se inicia la administración de un infusor inmediatamente después de sacarlo del frigorífico el tiempo de perfusión se incrementa sustancialmente. Las bajas temperaturas pueden endurecer la membrana del elastómero y hacer que se colapse más lentamente. Además, se puede incrementar la viscosidad de la solución. Una forma de evitar este problema es calentar el infusor a temperatura ambiente unas horas antes de su perfusión.^{39,40} En sistemas que se han congelado, se han descrito tiempos prolongados de perfusión incluso cuando se han calentado hasta temperatura ambiente antes de su empleo.³⁹
- **Viscosidad**. Debe tenerse en cuenta la viscosidad, tanto del fármaco como del diluyente. Una mezcla preparada en dextrosa al 5% se puede infundir más lentamente que una preparada en cloruro sódico 0,9%.⁴⁰

— **Oclusión en el equipo de perfusión (en el tubo) o en el acceso venoso.** La posición del paciente puede provocar algún tipo de oclusión. Se debe enseñar a los pacientes cómo, cambiando su posición corporal, pueden restaurar un flujo lento a normal.

Del mismo modo, algunos catéteres centrales son muy flexibles y un flujo de sangre turbulento o un cambio en la posición del paciente pueden provocar una restricción en la velocidad de flujo de la perfusión.⁴⁰

Las **bombas de perfusión mecánicas**, al igual que los infusores elastoméricos, son equipos muy indicados para la perfusión de medicamentos a nivel ambulatorio. La característica general de estos sistemas es que constan de un aparato (no desechable) que ejerce presión sobre un reservorio del medicamento. El sistema está formado por una *bomba infusora* de reducido tamaño con un mecanismo de resorte flotante y un *equipo desechable* compuesto por un reservorio para el fármaco y un tubo de perfusión. La velocidad de flujo se controla por la presión constante ejercida por el resorte de la bomba sobre el reservorio y un capilar de cristal situado en el extremo distal del tubo de perfusión. La precisión que se obtiene con estos dispositivos es de un $\pm 10\%$.³⁶ Se dispone de distintos equipos desechables diseñados para diferentes caudales (0,5 a 200 mL/h), aunque de igual capacidad (110 mL). De esta forma se pueden emplear para infusiones tanto intermitentes como continuas.

Se emplean otros mecanismos para generar la fuerza que ejerza la presión sobre el reservorio. Es el caso de las bombas que se basan en la producción de una reacción química (por ejemplo, producción de dióxido de carbono) en un compartimento externo que ejercerá presión sobre otro interno.¹⁰

Las **bombas de jeringa mecánicas**, al igual que los anteriores dispositivos, no son electrónicos; un muelle (resorte) ejerce una presión positiva constante sobre el émbolo de la jeringa una vez que el aparato se cierra. Como se genera una presión constante por este resorte, la velocidad de flujo debe controlarse por un equipo desechable con un sistema restrictor de flujo, que será diferente para cada velocidad de flujo y tamaño de jeringa. Es relativamente coste-efectiva para el uso con medicación, que requiere control de la perfusión. El coste del material fungible por dosis depende de la política, en cuanto a frecuencia de cambio de tubo de perfusión, que se tenga en el centro y de las dosis que se administren al día.¹⁰ Otros sistemas emplean la presión de hidrógeno para producir la fuerza que impulse al émbolo.¹⁰

En todos los sistemas que utilizan un tubo restrictor para el control de la velocidad de flujo, las variables que van a afectar a la misma están descritas por la ley de Hagen-Poiseville:^{11,37}

$$P = \frac{P \cdot \pi \cdot R^4}{8 \cdot V \cdot L}$$

Esta ecuación establece que el flujo a través de un tubo es función de la diferencia de presión (P), el radio de la luz del capilar (R), la longitud del tubo (L), y la viscosidad del líquido (V).

Las variables que pueden controlar al diseñar el sistema son la longitud del tubo y el diámetro interno del restrictor. Las otras variables (diferencia de presión y viscosidad) se verán afectadas por las condiciones de la perfusión.¹¹

La **viscosidad** está en función del vehículo de la solución, del medicamento y de la temperatura. Los efectos del vehículo se pueden conocer con facilidad, ya que normalmente se utiliza glucosa 5% y cloruro sódico 0,9%.⁸ Las fluctuaciones de temperatura se deben a la cercanía del infusor a la piel.¹¹

La **presión diferencial** se ve afectada por la altura vertical del dispositivo al punto de perfusión, por el volumen de llenado del infusor y por el tiempo que se tenga refrigerado o congelado.³⁷

Los diferentes mecanismos que se emplean para ejercer una presión sobre el reservorio del medicamento afectan a los perfiles de flujo que se obtienen. La velocidad no es constante ya que la fuerza aplicada al fluido por el elastómero o por el resorte mecánico depende del volumen remanente. En los infusores elastoméricos se obtiene un pico de velocidad al comienzo y final de la perfusión, característico de una pared delgada y cilíndrica de goma.³⁷ Los sistemas elastoméricos con un globo multicapa mantienen de forma más constante la presión de empuje a través de toda la perfusión, pero presentan el inconveniente de la dificultad para realizar el llenado por la resistencia que presenta esta membrana.³⁹ En las bombas mecánicas con resorte helicoidal la fuerza que se aplica es proporcional a la compresión del resorte (ley de Hooke). La compresión decrece cuando el aparato se vacía; así el flujo decrece durante la administración del fluido. Sin embargo, equipos con un diseño de doble resorte compensan esta limitación y proporcionan una velocidad de flujo más continuo y una fase terminal mínima.³⁷

La falta de continuidad de flujo hace que la definición del punto final de la administración del fluido sea crítico para determinar la seguridad del aparato. Lo más práctico para asegurar una perfusión continua prolongada con un sistema restrictor de flujo es cambiarlo antes de completar la perfusión.³⁷ En todo caso, se deben conocer las especificaciones de funcionamiento de estos aparatos y los factores que afectan a la perfusión para realizar un empleo correcto de los mismos.

B) Infusores electrónicos

Se trata de sistemas que, mediante un sistema electrónico, ejercen una presión controlada sobre un reservorio interno que contiene el medicamento. La velocidad de flujo se controla con un equipo específico de perfusión (restrictor de flujo). Disponen de alarmas de oclusión y fin de la perfusión. Se utilizan minibolsas de 25-50 y 100 mL y permite la administración de dos fármacos simultáneamente.¹⁰

C) Sistemas de perfusión de membrana

Son sistemas compuestos por un reservorio de la medicación, una membrana bioeléctrica y un tubo de perfusión. La membrana no sólo tiene función de filtro, que evita el paso de bacterias, sino que también genera un potencial eléctrico. El fármaco se infunde a través de la membrana a una velocidad definida que depende de su carga iónica. Para su empleo, el fármaco se introduce diluido en el reservorio. El fluido, entonces, atraviesa la membrana que se conecta por el tubo externo con el acceso venoso del paciente. El sistema se puede llegar a reutilizar 36 veces en un periodo de 72 horas.¹⁰

D) Bombas de jeringa electrónica

Son sistemas de administración de medicamentos IV coste-efectivos a nivel ambulatorio, ya que el gasto de adquisición de la bomba se puede amortizar en poco tiempo con el empleo de equipos de perfusión y jeringas de bajo precio.¹⁰ Los infusores de jeringa se fabrican para administrar fármacos con una presión mayor que otros de los sistemas vistos. Esto provoca una administración continua del fármaco, incluso si el acceso venoso está restringido.¹⁰ Además los hace útiles para la administración de infusiones intraarteriales.¹¹ La mayoría de estos aparatos de jeringa empleados en terapias domiciliarias son pequeños, ligeros, de diseño simple, fáciles de utilizar y programar y con pocas alarmas (batería baja, fin de perfusión, presión de oclusión) que los hace aptos para que el paciente pueda desarrollar una actividad normal durante la perfusión del medicamento.^{10,11}

Los inconvenientes que presentan son:^{10,11}

- La necesidad de realizar un mantenimiento y una limpieza de la bomba.
- Problemas potenciales con la fuente de energía del aparato (batería).
- La necesidad de chequeo de funcionamiento entre pacientes.
- En algunos modelos, resulta limitante el pequeño volumen de la jeringas disponibles.
- Es preciso enseñar su funcionamiento básico y su forma de uso al paciente.
- Puede resultar fácil manipular una programación efectuada.
- Su pérdida o extravío.

La precisión que se consigue difiere significativamente de unas bombas a otras. Esta variación está influida por la elección del material desechable y por el propio mecanismo de la bomba.^{29,41} Existe la posibilidad de programarse a distintas velocidades de perfusión y en varios periodos de tiempo. Se han empleado para la autoadministración de antibióticos, citostáticos y otros agentes con un nivel de exactitud que puede estar entre el ± 2 al $\pm 5\%$.¹¹

La precisión y exactitud del flujo es de mayor importancia para fármacos potentes de vida media corta (inotrópicos, nitroprusiato). Así, la falta de continuidad en el flujo (particularmente a velocidades muy bajas) se ha relacionado con variaciones en la presión sanguínea.⁴¹

E) Bombas de perfusión electrónicas

Las bombas de perfusión portátiles, junto con los sistemas de perfusión de restricción de flujo, han llegado a ser una parte esencial de la terapia IV domiciliaria. Deben tener la capacidad regular la perfusión de volúmenes grandes y pequeños de fluido administrados a alta o baja velocidad de flujo.⁴² Por tanto, se diseñan para permitir la administración de infusiones continuas o dosis múltiples de un fármaco. Puede realizarse, control de la analgesia por el paciente (PCA), nutrición parenteral total con gradiente de velocidad, programación de ciclos circadianos, etc.¹⁰

El peso y tamaño de estas bombas se ha minimizado gracias a la utilización de sofisticados microprocesadores. Suelen incorporar sistemas de alarma para alertar al paciente de distintos problemas: batería baja, mal funcionamiento del aparato, oclusión en la línea.⁹

Se dispone de **bombas portátiles electrónicas** para una medicación única con posibilidad para:

- *Programar uno o dos tipos de terapia* (modos de programación). Como perfusión continua o perfusión continua e intermitente.¹⁰
- *Programar múltiples tipos de terapia*. Una sola bomba es capaz de proporcionar una importante variedad de usos diversos como: perfusión continua, perfusión intermitente, PCA y nutrición parenteral. Algunas bombas también ofrecen la posibilidad de programar ritmos circadianos.

Cada tipo de bomba tiene sus ventajas y desventajas. Las dedicadas a un solo tipo de terapia son más sencillas de programar y su batería tiene una mayor duración, pero se necesitaría disponer de diversas bombas si se precisara realizar otro tipo de perfusión. Una bomba multiprogramación es más versátil, pero su empleo puede resultar algo más complejo. Algunas de las bombas multiterapia tienen características que pueden ser importantes para empleos concretos. Existen bombas de este tipo que ofertan la posibilidad de acceso remoto y programación por teléfono.¹⁰

Las **bombas electrónicas multicanal** se emplean para administrar varias soluciones de medicamentos simultáneamente. Algunas pueden utilizarse y programarse para diversos modos de perfusión. Presentan ciertos inconvenientes para su empleo domiciliario, ya que son más pesadas, voluminosas, y requieren el empleo de reservorios externos de medicamentos de cierto tamaño.¹⁰

IV.2. Selección de los sistemas de control de la perfusión en terapia IV domiciliaria

Un punto importante, a la hora de evaluar estos aparatos y sistemas, es el coste. Cobra mayor importancia cuando el número de dosis por día se incrementa. Uno de los sistemas más económico y fiable es el empleo de bombas de jeringa. Se obtiene un buen control de la perfusión y además disponen de cierto número de alarmas. El precio del material desechable para las bombas de jeringa son casi tan bajos como para la inyección IV directa y el proceso de llenado de las jeringas es relativamente sencillo. La principal desventaja reside en tener que recuperar la bomba de los pacientes, tenerla que limpiar y chequear.¹⁰

Los infusores con restrictor de flujo representan un sistema muy bien acogido entre los pacientes. Pueden resultar relativamente caros, pero la competencia está provocando una disminución de los precios. Son, por su funcionamiento tan simple, extrema-

damente útiles si no se dispone de personal suficiente para enseñar a los pacientes el manejo de sistemas más complejos. Son muy bien acogidos para el tratamiento de pacientes que residen fuera de la localidad donde se encuentra el hospital, ya que el empleo de aparatos electrónicos, en estos casos, resulta problemático.¹⁰

La selección del aparato de perfusión específico se basa a menudo en la facilidad de uso por el paciente o cuidador y el tamaño del aparato.⁴² No es usual evaluar las bombas de perfusión para determinar si cumplen requerimientos para diversas aplicaciones clínicas.⁴² Elegir una o más bombas electrónicas ambulatorias puede ser un proceso complejo. Si sólo se emplean para un proceso es mejor usar bombas simples que son más fáciles de programar, pequeñas y ligeras y tienen una vida de batería más larga.¹⁰ Sin embargo, si se emplean en un amplio rango de tratamientos, una bomba multiterapia puede ser la mejor elección. Estas bombas se están mejorando para hacer la programación más fácil, pero requieren un entrenamiento previo antes de utilizarlas en la práctica.

La aparente diferencia en la continuidad de flujo, que se obtiene con los distintos aparatos de perfusión, no tiene una importancia crítica, en cuidado ambulatorio, ya que, en la mayoría de las terapias, no se da alteración clínica o hemodinámica importante o se altera la respuesta farmacológica.⁴²

Identificar la situación clínica es crítico y sería la primera etapa para seleccionar el aparato óptimo, seguido por la evaluación de la capacidad de la bomba para llevar a cabo adecuadamente la perfusión y reunir los requerimientos clínicos.⁴²

BIBLIOGRAFÍA

1. Akers MJ. Considerations in using the IV route for drug delivery. *Am J Hosp Pharm.* 1987;44:2528-30.
2. Holmes BC. Administration of cancer chemotherapy agents. En: Dorr RT, Von Hoff DD. *Cancer chemotherapy handbook*. 2nd edition. Norwalk: Appleton-Lange, 1994:57-94.
3. Alexander MR, Kirking DM, Baron KA. Utilization of electronic infusion devices in a university hospital. *Drug Intell Clin Pharm.* 1987;21:630-3.
4. Koren G, Rajchgot P, Harding E, Perlman M. Evaluating a filter device used for intermittent intravenous drug delivery to new born infants. *Am J Hosp Pharm.* 1985;42:106-8.
5. Nahata MC. Intravenous drug therapy in pediatric patients. *J Pharm Technology.* 1987;3:61-4.

6. Glass PSA. Intravenous infusion techniques: how to do it and why we should do it. *Can J Anaesth*. 1998;45:117-27.
7. Miller DR. Intravenous infusion anaesthesia and delivery devices. *Can J Anaesth*. 1994;41:639-52.
8. Damascelli B, Marchiano A, Spreafico C, Lutman R, Salvetti M, Bonalumi MG, Mauri M, Garbagnati F, Del Nero A, Comeri G, Conti G, Coppoli S, Benetti G, Tralongo P, Belussi D. Circadian continuous chemotherapy of renal cell carcinoma with an implantable programmable infusion pump. *Cancer*. 1990;66:237-41.
9. Kwan JW. High-technology IV infusion devices. *Am J Hosp Pharm*. 1991;48 (Suppl 1):S36-51.
10. Schleis TG, Tice AD. Selecting infusion devices for use in ambulatory care. *Am J Health-Syst Pharm*. 1996;53: 868-77.
11. Francomb M, Kwan JW, Lee MG, Summerhayes M. Ambulatory infusion pumps for cytotoxic therapy. En: Allwood M, Wright P, eds. *The cytotoxics handbook*. 2nd edition. Oxford: Radcliffe Medical Press Ltd, 1993:33-46.
12. Brouwers JRBJ. Application of portable and implantable drug pumps to achieve an effective pharmacotherapy. *Pharm Weekbl (SCI)* 1990;12:30-1.
13. Demoruelle JL, Harrison WL, Flora RE. Flow rate maintenance and output of intravenous fluid administration sets. *Am J Hosp Pharm*. 1975;32:177-85.
14. Large-volume sterile solutions. En: Turco SJ. *Sterile dosage forms. Their preparation and clinical application*. 4th edition. Philadelphia, Lea-Febiger, 1994:115-95.
15. Cosentino F. Handling and administration. En: Turco SJ. *Sterile dosage forms. Their preparation and clinical application*. 4th edition. Philadelphia: Lea-Febiger, 1994: 79-96.
16. Reilly KM. Problems in administration techniques and dose measurement that influence accuracy of IV drug delivery. *Am J Hosp Pharm*. 1987; 44: 2545-50.
17. Rapp, RP. Considering product features and costs in selecting a system for intermittent IV drug delivery. *Am J Hosp Pharm*. 1987;44: 2533-8.
18. Mallekal J, Bertch KE, Witte KW. An update on ready-to-use intravenous delivery systems. *Hosp Pharm*. 1993; 28: 970-1, 975-7.
19. DeRon MS, Craig SA, Parks NPT. Monitoring system to verify activation of ADD-Vantage system doses (letter). *Am J Hosp Pharm*. 1989;46:702
20. Billeter M, Nowak MM, Rapp RP, et al. Waste of IV admixtures in the ADD-Vantage system and a traditional minibag system. *Am J Hosp Pharm*. 1990; 47:1598-1600.
21. Robles A, Ortega A, Elcarte B, Lacasa C, Giraldez J. Valoración económica del Vialflex[®] con adaptador de vial. XLIII Congreso de la Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria. Granada, Octubre-1998.
22. Crane VS. Significance of osmoticity in antibiotic small-volume parenterals. *Ann Pharmacother*. 1987; 21: 830-4.
23. Mauro VF, Jacobs LR, Mauro LS, MacArthur RD, White DB. Comparison of tobramycin pharmacokinetics after administration by CRIS and a traditional intravenous piggyback infusion. *Ann Pharmacother*. 1995;29: 465-9.
24. Zenk KE. Intravenous drug delivery in infants with limited IV access and fluid restriction. *Am J Hosp Pharm*. 1987; 44: 2542-5.

25. Carleton BC, Cipolle RJ, Larson SD, Canafax DM. Method for evaluating drip-rate accuracy of intravenous flow-regulating devices. *Am J Hosp Pharm.* 1991;48:2422-6.
26. Gauger LJ, Cary JD. The theory and practice of retrograde infusion: influence of tube diameter on drug delivery. *Drug Intell Clin Pharm.* 1986;20:616-22.
27. Selva Otaolaurruchi J, Ruiz López I, Marco Garbayo JL, Martínez Seguí MJ, Pérez Martínez B. Estudio comparativo de reguladores de caudal convencionales frente a bomba de perfusión peristáltica. *Revista S.E.F.H.* 1990;14 (5):236-8.
28. Grupo de trabajo: Controladores y bombas de perfusión. *Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral*, ed, 1995.
29. Carl JL, Erstad BL, Murphy JE, Slack MK. Fluid delivery from infusion-pump syringes. *Am J Health-Syst Pharm.* 1995;52:1428-32.
30. Kirschenbaum B, Klein S. Pharmacy-coordinated infusion device evaluation. *Am J Hosp Pharm.* 1984;41:1181-3.
31. Alexander MR. IV infusion devices: are they always justified?. *Drug Intell Clin Pharm* 1987;21:255-7.
32. Piccoro JJ. Development of an institutional IV drug delivery policy. *Am J Hosp Pharm* 1987;44:2557-9.
33. Pickstone M. Classifying drugs into risk categories. *British Journal of Intensive Care.* 1995;Feb (Suppl):17-22.
34. Fernández E, Herranz A, Lacasa C, Aldaz A, Giráldez J. Criterios de empleo de los equipos de perfusión. *XLI Congreso de la Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria*; 1996 Sevilla 187-189. Sevilla, S.E.H.F., 1996
35. Beijnen JH. Home-based chemotherapy confronts pharmacists with stability and compatibility problems. *Pharm Weekbl Sci* 1992;14 (6):337.
36. Veal DF, Altman CE, McKinnon BT, Fillingim O. Evaluation of flow rates for six disposable infusion devices. *Am J Health-Syst Pharm.* 1995;52:500-4.
37. Capes DF, Asiimwe D. Performance of selected flow-restricting infusion devices. *Am J Health-Syst Pharm.* 1998; 55:351-9.
38. Akahoshi MP, Enriquez NC, Maki JK, Merrigan DM. Safety and reliability of the travenol infusor. *J Pharm Technology.* 1987;3:65-8.
39. Rich DS. Evaluation of a disposable, elastomeric infusion device in the home environment. *Am J Hosp Pharm.* 1992;49:1712-6.
40. Kaye, T. Prolonged infusion times with disposable elastomeric infusion devices. *Am J Hosp Pharm.* 1994;51:533-4.
41. Capes DF, Dunster KR, Sunderland VB, McMillan D, Colditz PB, McDonald C. Fluctuations in syringe-pump infusions: association with blood pressure variations in infants. *Am J Health-Syst Pharm.* 1995;52:1646-53.
42. Coley SC, Shaw PK, Leff RD. Performance of three portable infusion-pump devices set to deliver 2 mL/h. *Am J Health-Syst Pharm.* 1997;54:1277-80.