

Adherencia y potenciales eventos adversos prevenidos durante la administración de medicamentos endovenosos empleando bombas de infusión inteligentes en cuatro unidades de cuidados intensivos en Colombia

Adherence and potential adverse events prevented during the administration of intravenous medications using smart infusion pump in four intensive care units in Colombia

Luis Alberto López-Romero¹, Diana Isabel Cáceres Rivera^{1,2}, Ruby Emilse Dueñas Badillo¹, Jennifer Vanesa Acosta-Barón¹, Ismery Yaneth Robles Méndez¹, Diego Rincón Castillo³, Gloria Isabel Parra de Rey¹

Forma de citar: López-Romero LA, Cáceres Rivera DI, Dueñas Badillo RE, Acosta-Barón JV, Robles Médez IY, Rincón Castillo D, et al. Adherencia y potenciales eventos adversos prevenidos durante la administración de medicamentos endovenosos empleando bombas de infusión inteligentes en cuatro unidades de cuidados intensivos en Colombia. Rev Univ Ind Santander Salud. 2019; 51(4): 293-304. doi: <http://dx.doi.org/10.18273/revsal.v51n4-2019002> 

Resumen

Introducción: Las bombas de infusión inteligentes, constituyen una herramienta útil para la administración segura de medicamentos endovenosos dado que permiten prevenir potenciales eventos adversos. **Objetivo:** Evaluar la adherencia y los potenciales eventos adversos prevenidos, durante la administración de medicamentos endovenosos empleando bombas de infusión inteligentes. **Metodología:** Estudio observacional, realizado en cuatro unidades de cuidados intensivos usando datos del software Hospira MedNet™. Un análisis descriptivo fue llevado a cabo junto con un análisis bivariado empleando una prueba U de Mann-Whitney, una prueba de Kruskal-Wallis y un test de Bonferroni para evaluar la adherencia y los potenciales eventos adversos prevenidos por año y servicio. **Resultados:** La adherencia fue del 74,0%, se presentaron 78.299 alertas de seguridad y se previnieron 4,54% (n=16.288) potenciales eventos adversos. Se encontraron diferencias entre el primer y segundo año en la adherencia [Mediana: 69,15 (Q1:64,2-Q3:75,5) Vs Mediana: 84,2(Q1:72,15-Q3:89,05), p<0.001], adherencia a la seguridad [Mediana: 87,1% (Q1:83,05-Q3:91,2) Vs Mediana: 94,05 (Q1:89,95-Q3:96,2), p<0.001] y las ediciones de alertas de limite relativo [Mediana:17,0 (Q1:8,5-Q3:24,5) Vs Mediana: 12,0 (Q1:7,0-Q3:17,5), p=0.013]. La solución

1. Fundación Cardiovascular de Colombia. Floridablanca, Santander

2. Universidad Cooperativa de Colombia. Floridablanca, Santander

3. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia

Correspondencia: Luis Alberto López Romero. Dirección: FCV (GIDCEN) Calle 155A No. 23-58 piso 3 Floridablanca. Teléfono: +577 6399292. Ext: 344. Correo electrónico: alberlop60@gmail.com.

salina, la norepinefrina, el lactato de ringer, la piperacilina-tazobactam, la nitroglicerina y la heparina presentaron el mayor número de alertas de seguridad. **Conclusión:** Se encontró una buena adherencia (uso de la farmacia) y adherencia a la seguridad (indicador de uso de la bomba), con una reducción de los potenciales eventos adversos; así el uso de bombas inteligentes podría contribuir en la prevención de potenciales errores durante la administración de medicamentos endovenosos en la unidad de cuidados intensivos.

Palabra claves: Errores de medicación; administración intravenosa; administración de la seguridad; efectos adversos; bombas de infusión.

Abstract

Introduction: Smart infusion pumps have become a useful tool for the safe administration of intravenous medications, since they allow the prevention of potential adverse events. **Objective:** To assess adherence and potential adverse events prevented during intravenous medication administration using smart infusion pumps. **Methods:** Observational study, conducted in four intensive care units using data from Hospira MedNet™ software. A descriptive analysis was carried out together with a bivariate analysis using a Mann-Whitney U test, a Kruskal-Wallis test and a Bonferroni test to assess adherence and potential adverse events prevented by year and service. **Results:** Adherence was 74.0%, 78,299 safety alerts were presented and 4.54% (n = 16,288) potential adverse events were prevented. Differences were found between the first and second year in adherence [Median: 69.15 (Q1: 64.2-Q3:75.5) versus Median: 84.2 (Q1: 72.15-Q3: 89.05), p<0.001]. Likewise safety adherence [Median: 87.1% (Q1: 83.05-Q3: 91.2) versus Median: 94.05 (Q1: 89.95-Q3: 96.2), p<0.001] and the relative limit alert editions [Median: 17.0 (Q1: 8.5-Q3: 24.5) versus Median: 12.0 (Q1: 7.0-Q3: 17.5), p=0.013]. The saline solution, norepinephrine, ringer's lactate, piperacillin-tazobactam, nitroglycerin and heparin presented the highest number of safety alerts. **Conclusions:** Adequate adherence (use of the drug library) and safety adherence (indicator of pump use) were found, with a reduction in potential adverse events; thus, the use of smart pumps could contribute to the prevention of potential errors during the administration of intravenous medications in the intensive care unit.

Keywords: Medication errors; intravenous administration; safety management; adverse effects; infusion pumps.

Introducción

La seguridad del paciente, constituye una de las prioridades de la atención en salud a nivel mundial como una política para reducir los eventos adversos. Según los hallazgos del estudio ENEAS (2007) hasta un 37.4% de los acontecimientos adversos detectados en pacientes ingresados están causados por errores relacionados con la medicación¹. Se estima que cada año ocurren 450.000 errores en la administración de medicamentos, cifras que representan un costo entre 3,5 y 29 billones de dólares anuales para los hospitales². Esto sumado a las repercusiones a nivel humano, asistencial, la desconfianza en los profesionales y el sistema de salud en general³. Solo en Estados Unidos se estimó que los errores en la administración de los medicamentos son los responsables de alrededor de 7.000 muertes evitables cada año⁴.

Actualmente se sabe que cada una de las fases de utilización de los medicamentos está asociada con diferentes frecuencias de errores que en su orden son: dispensación (11%), transcripción (12%), administración (38%) y finalmente la prescripción

(39%); siendo estas dos últimas las más susceptibles a la presentación de errores^{5,6}. Existen diferentes factores que pueden contribuir con la ocurrencia de errores en la administración de la medicación, entre los cuales se incluye la comunicación escrita inadecuada (prescripciones, documentación, transcripción), problemas con el suministro y almacenamiento de medicamentos (errores de dispensación de farmacia y gestión de existencias), alta carga de trabajo, problemas con equipos de la sala (acceso, funcionalidad), factores del paciente (disponibilidad, agudeza), estado de salud del personal (fatiga, estrés) e interrupciones y distracciones durante la administración del medicamento⁷.

Adicional a lo anterior, se ha descrito que en general el 47% de los errores no son detectados antes de que puedan causar daño al paciente, sin embargo la situación resulta preocupante dado que solo el 2% de los errores ocurridos durante la fase de administración, que generalmente es ejecutada por el personal de enfermería, son detectados antes de alcanzar el paciente; mientras que el 98% restante termina afectando y causando serios daños al mismo,

representando costos para el sistema sanitario⁶. En Estados Unidos en el 2006 en un estudio multicéntrico se estimó que los eventos adversos por medicamentos se asociaron con aumentó en el costo de 3.420 dolores y 3,15 días en la estancia hospitalaria⁸.

No obstante, un alto porcentaje de los errores durante la fase administración de medicamentos podría ser prevenible a través de la implementación de estrategias para promover la implementación de prácticas de seguridad efectivas, que contribuyan a disminuir su incidencia y que a su vez involucren a todo el personal de salud encargado de la atención⁹. La literatura ha demostrado que varias tecnologías reducen las tasas de errores de medicación graves, incluida el ingreso de órdenes medicas computarizadas, apoyo para la toma de decisiones y sistemas de vigilancia de eventos adversos en la farmacia, y más recientemente el empleo de bombas de infusión inteligentes¹⁰; estas últimas permiten el control de las infusiones teniendo en cuenta las concentraciones, las diluciones y las dosis que fueron grabadas previamente. El Software instalado al interior de las bombas permite cuantificar y registrar los potenciales eventos adversos prevenidos, cuantificar el número de veces que se administraron los medicamentos y adicionalmente conocer cuáles son los más utilizados¹¹.

Las bombas de infusión inteligentes a diferencia de las bombas convencionales cuentan con un software incorporado que contiene una biblioteca de medicamentos o librería de fármacos (farmacoteca), que es una base de datos que contiene una lista de medicamentos para cada uno de los cuales se establecen límites absolutos y relativos (hard limits y soft limits), éstos determinan la velocidad de infusión del fármaco. Los límites absolutos definen un rango de velocidad fuera del cual la administración de un fármaco estaría contraindicada (requiere que el personal de enfermería re programe la bomba dentro de parámetros aceptables), mientras que los límites relativos sirven para delimitar el rango de velocidad de infusión óptimo (permite que el personal de enfermería anule el límite y continúe infundiendo)¹²⁻¹⁴.

El uso de tecnologías como las bombas de infusión inteligentes para la administración de medicamentos pueden ser una herramienta útil durante la fase de administración del fármaco, dado que contienen barreras de seguridad relacionadas con la dosificación, pero no previenen los demás errores que se podrían presentar en dicha fase como lo son: la no administración del medicamento correcto, equivocaciones relacionadas con

la identificación del paciente, errores relacionados con la vía de administración o incluso la hora de aplicación del mismo¹³. Entre los principales beneficios del uso de bombas inteligentes esta la intercepción de errores como la tasa incorrecta, la dosis incorrecta y los errores de configuración de la bomba, así como la reducción de las tasas de eventos adversos de medicamentos, mejoras en la práctica y rentabilidad. Mientras que entre las desventajas se encuentra la baja tasa de adherencia de su uso, la edición de alertas de límite relativo, errores no interceptados o la posibilidad de utilizar una biblioteca de fármacos incorrecta¹⁵.

Diferentes estudios han mostrado que la utilización de bombas inteligentes para la administración de medicamentos endovenosos en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) podría impactar de manera positiva en la prevención de errores o eventos adversos^{16,17}.

Materiales y Métodos

Diseño y población de estudio

Estudio observacional, retrospectivo realizado entre abril del 2014 y abril de 2016 (25 meses de registros de información) en cuatro unidades de cuidado intensivos (intermedia, trasplante, adultos y coronaria) de la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV), a partir de datos provenientes del software de Hospira MedNetTM.

Elaboración de la farmacoteca

Inicialmente se realizó una priorización de los fármacos más usados y sus dosis. El farmacólogo de la institución elaboró una lista de los medicamentos más empleados en cada servicio junto con sus respectivas dosis. Luego se reunió con el personal de salud (médicos, enfermeras, especialistas, terapeutas, entre otras) y contrastó dicha lista y dosis, elaborando un listado definitivo que incluía todas las medicaciones empleadas en cada servicio. Posteriormente se realizó una búsqueda bibliográfica en la literatura científica, se hizo revisión de prácticas institucionales, guías de manejo, y de protocolos de administración de medicamentos y se procedió a llevar a cabo reuniones de consenso en compañía del farmacólogo quien fue el encargado de construir la farmacoteca con los respectivos límites absolutos y relativos para cada medicamento (primera versión de la farmacoteca). Consecutivamente se incorporó la farmacoteca al software de Hospira MedNetTM y se ejecutó un pilotaje y entrenamiento del personal de

cada servicio, luego se recibió la retroalimentación de los errores de dosis más frecuentes y ajustes necesarios por parte del personal, los informes del sistema y los comités primarios. Finalmente se elaboró la farmacoteca final, la cual podría ser actualizada dependiendo de las necesidades encontradas.

Extracción de la información

La información fue extraída de los informes generados por el programa de Hospira MedNet™, software de seguridad para la administración de medicamentos endovenosos, empleada en la FCV. Se utilizaron diferentes informes como: infusiones totales realizadas con y sin el software e informes de los medicamentos utilizados por áreas clínicas. A partir de los datos generados y almacenados en el software se condensaron y calcularon los siguientes indicadores por año y servicio:

- Número total de infusiones realizadas (total de infusiones realizadas con y sin el uso del Software).
- Número total de infusiones simples (total de infusiones sin el uso del Software).
- Porcentaje de adherencia (número de infusiones en el cual fue utilizada la farmacoteca con respecto al total de infusiones realizadas con la bomba).
- Porcentaje de adherencia a la seguridad (número de infusiones en el cual fue utilizada la bomba (farmacoteca + fármaco no seleccionados + solo etiqueta de fármacos) con respecto al total de infusiones realizadas. Es decir, es el porcentaje de uso de la bomba de infusión inteligente, dado que se excluyen las infusiones simples que son las que no emplea el Software).
- Medicamentos más usados por servicios con sus respectivas alertas (límite absoluto y relativo).
- Alerta de seguridad (señal que emite la bomba, la cual indica que se está excediendo los límites relativos o absolutos de velocidad de infusión del fármaco o cualquier otra falla del sistema de infusión).
- Alerta de límite absoluto (se refiere a una alerta que indica que el fármaco se está administrando en un rango de velocidad por fuera del cual estaría contraindicada, lo cual obligatoriamente requiere que el personal de enfermería re programe la bomba dentro de parámetros aceptables para poder continuar).
- Alerta de límite relativo (se refiere a una alerta que indica que el fármaco se está administrando dentro de un rango de velocidad de infusión óptimo permitiendo que el personal de enfermería anule el límite y continúe infundiendo).

- Potenciales eventos adversos prevenidos (se refiere al proceso de ajuste y edición del límite absoluto que el personal de enfermería responsable debe realizar para reprogramar el flujo de infusión corrigiendo el error emitido por la bomba y de este modo la prevención el potencial daño al paciente por error en la dosis).

Análisis estadístico

Un análisis descriptivo de la información fue realizado junto con un análisis bivariado. Las variables de naturaleza cualitativa fueron descritas a través de frecuencias absolutas y relativas, mientras las variables continuas se describieron con medidas de tendencia central y dispersión según su distribución. Las variables no presentaron una distribución normal según la prueba Shapiro-Wilk y las diferentes gráficas empleadas (histogramas, diagramas de cajas y gráficas QQ), entonces se reportó las medianas acompañadas del primer y el tercer cuartil. Una Prueba U de Mann-Whitney fue usada para comparar las medianas de las variables e indicadores. Adicionalmente, una prueba de Kruskal-Wallis y un test de Bonferroni fueron empleadas para comparar la mediana de la adherencia, así como los demás indicadores de interés entre las cuatro UCI durante el periodo de análisis. Se consideró significativo un valor *p* inferior a 0,05. Todas las pruebas estadísticas fueron realizadas a dos colas. Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico STATA, versión 12.0.

Resultados

Durante los 25 meses analizados en las cuatro UCI se registraron un total de 336.206 infusiones, de las cuales 305.494 (90,87%) usaron el sistema de seguridad y 30.712 (9,13%) correspondieron a infusiones simples. Se presentaron 78.299 alertas de seguridad, dentro las cuales por ejemplo se encontraban la activación en la detención de infusión, la duración de la misma, el cálculo de dosis erróneas, la ubicación de oclusión, la modificación de la bomba tras la emisión de alertas, alertas ignoradas, entrada de aire en el equipo por inadecuada programación inicial, entre otras. Después de realizada una auditoria detallada, se logró evidenciar que gracias a la utilización de estas bombas se previnieron un 4,54% (n=16.288) de potenciales eventos adversos con respecto al total de alertas presentadas, las cuales estaban relacionados con dosis superiores de administración de medicamentos (excedían el límite absoluto). La adherencia fue del 74,0%, sin embargo solo alcanzó el 67,70% durante

Adherencia y potenciales eventos adversos prevenidos durante la administración de medicamentos endovenosos empleando bombas de infusión inteligentes en cuatro unidades de cuidados intensivos en Colombia

el primer año para luego incrementar hasta un 80,68% en el segundo; siendo este indicador de mejor comportamiento en las unidades de mayor complejidad (UCI trasplante y UCI coronaria). **Tabla 1.**

Tabla 1. Indicadores de interés por servicios.

	UCI Intermedia ^a	UCI Trasplante ^b	UCI Adultos ^c	UCI Coronaria ^d	Total
Infusiones Totales	53.351	136.450	113.544	32.861	336.206
Infusiones Primer Año	26.790	67.284	57.418	18.792	170.284
Infusiones Segundo Año	26.561	69.166	56.126	14.069	165.922
Total De Alertas	14.158	27.095	30.171	6.875	78.299
Eventos Adversos Prevenidos	1.127	6.751	6.858	1.552	16.288
% de potenciales eventos prevenidos	1,96	4,66	5,63	4,45	4,54
Adherencia	74,32%	72,70%	72,87%	84,47%	74,0%
Adherencia Primer Año	69,52%	64,75%	64,87%	84,35%	67,70%
Adherencia Segundo Año	79,16%	80,42%	81,05%	83,28%	80,68%

^a Unidad de Cuidado Intensivo Intermedia; ^b Unidad de Cuidado Intensivo Trasplante; ^c Unidad de Cuidado Intensivo Adultos; ^d UCIC=Unidad de Cuidado Intensivo Coronaria.

Fuente: Construcción propia.

El pico máximo de adherencia se presentó en la UCI adultos con un 93,6% y el mínimo en la UCI trasplante con 56,5%, mientras que para la adherencia a la seguridad el pico máximo y mínimo se presentó en la UCI trasplante con 99,1% y 72,7%, respectivamente. El mayor número de potenciales eventos prevenidos se registró en UCI trasplante con 422 y el menor número se presentó en la UCI intermedia con 13 eventos, y finalmente el número máximo de alertas editadas de límite relativo se registró en la UCI trasplante con 630 y el número mínimo se registró en UCI intermedia con solo tres ediciones. **Tabla 2.**

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el primer y segundo año en la adherencia [(Mediana: 69,15 (Q1:64,2- Q3:75,55) Vs Mediana: 84,2 (Q1:72,15-Q3:89,05), $p<0.001$], adherencia a la seguridad [(Mediana: 87,1 (Q1:83,05-Q3: 91,2) Vs Mediana: 94,05 (Q1: 89,95-Q3: 96,2), $p<0.001$)] y las ediciones de alerta de límite relativo [(Mediana: 17,0 (Q1:8,5-Q3:24,5) Vs Mediana:12,0 (Q1:7,0-Q3:17,5), $p=0.013$)], sin embargo esto no ocurrió para la mediana del número de eventos adversos prevenidos [(Mediana: 99 (Q1:40,5-Q3:298) Vs Mediana: 139 (Q1:47,5-Q3:255), $p=0.887$)]. Adicionalmente, estas diferencias se mantuvieron cuando se analizaron la totalidad de los indicadores por servicio de UCI durante los 25 meses. No obstante, llama la atención que dichas diferencias estadísticamente significativas tienden a ser más

notables para los servicios de UCI de mayor complejidad (trasplante y coronaria) cuando se compararon con la UCI adultos o intermedia, lo cual refleja un mejor comportamiento en todos los indicadores (adherencia, adherencia a la seguridad, potenciales eventos prevenidos y ediciones de alerta límite relativo) para estas primeras. **Tabla 2.**

Por otro lado, respecto a los fármacos que presentaron mayor número de alertas de límite relativo y absoluto, se encontró que la Solución Salina, la Norepinefrina, el Lactato de Ringer, la Piperacilina-Tazobactam, la Nitroglicerina y la Heparina fueron los medicamentos que ocuparon los primeros lugares con el mayor número de alertas en los cuatro servicios; la mayoría de las alertas se presentaron por violaciones al límite relativo.

En caso particular de la UCI intermedia, el primer lugar lo ocupó la Solución Salina al 0,9% por 500 mL con 9.467 alertas, seguido de la Piperacilina-Tazobactam con 948. Para la UCI trasplante el primer lugar lo ocupó la Norepinefrina 8 mg/100 mL con 7.611 alertas, seguido de la Solución Salina 0,9% por 500 mL con 5.417. Situación similar a la anterior ocurrió en UCI adulto en donde el primer lugar lo ocupó la solución salina 0,9% por 500 mL con 7.533 alertas, seguido de la Norepinefrina 8 mg/100 mL con 7.381. Igualmente, ocurrió en la UCI coronaria, la solución salina ocupó el primer lugar con 2.371 y la Norepinefrina ocupó el segundo lugar con 848 alertas. **Tabla 3.**

Tabla 2. Comparación de indicadores de seguridad por servicios y año.

Variables	Mediana(Q1-Q3)	Min	Max	p Valor ^a	Comparación por servicios p Valor ^b
Adherencia					
Todos Los Servicios De UCI	74,65(67,6- 87,65)	56,5	93,6	NA	NA
Adherencia Año 1	69,15(64,2-75,55)	56,5	92,8	<0.001	NA
Adherencia Año 2	84,2(72,15-89,05)	60,9	93,6		
UCI Intermedia	71,2(69,4-80,3)	63,7	90,7	0.000	UCII vs UCIT: 1.000; UCII vs UCIA: 1.000; UCII vs UCIC: 0.014; UCIT vs UCIA: 1.000; UCIT vs UCIC: 0.001; UCIA vs UCIC: 0.001
UCI Trasplante	68,3(64,9-84,6)	56,5	92,0		
UCI Adultos	68,8(63,1-88,4)	58,6	93,6		
UCI Coronaria	84,2(80,9-88,2)	75,3	92,8		
Adherencia seguridad					
Todos Los Servicios De UCI	90,65(86,9- 94,8)	72,7	99,1	NA	NA
Adherencia Año 1	87,1(83,05-91,2)	72,7	95,8	<0.001	NA
Adherencia Año 2	94,1(89,95-96,2)	85,1	99,1		
UCI Intermedia	86,6(82,5-90,2)	77,0	96,4	<0.001	UCII vs UCIT: <0.001; UCII vs UCIA: 0.231; UCII vs UCIC: 0.208; UCIT vs UCIA: 0.006; UCIT vs UCIC: 0.007; UCIA vs UCIC: 1.000.
UCI Trasplante	95,5(94,1-97,4)	72,7	99,1		
UCI Adultos	90,0(87,6-93,3)	77,1	99,1		
UCI Coronaria	90,5(87,0-93,2)	84,9	95,6		
Eventos adversos prevenidos					
Todos los servicios de UCI	110,5(44,5-270)	13	422	NA	NA
Eventos prevenidos año 1	99(40,5-298)	26	422	0.887	NA
Eventos prevenidos año 2	139 (47,5-255)	13	399		
UCI Intermedia	37(32,0-54.0)	13	101	<0.001	UCII vs UCIT: <0.001; UCII vs UCIA: <0.001; UCII vs UCIC: 0.526; UCIT vs UCIA: 1.000; UCIT vs UCIC: <0.001; UCIA vs UCIC: <0.001.
UCI Trasplante	274(226-312)	50	422		
UCI Adultos	246(230-318)	189	399		
UCI Coronaria	57(41-76)	28	119		
Ediciones alerta limite relativo					
Todos los servicios de UCI	15,0(7,5- 21,5)	0	630	NA	NA
Adherencia año 1	17,0(8,5-24,5)	0	630	0.013	NA
Adherencia año 2	12,0(7,0-17,5)	0	33		
UCI Intermedia	15,0(7,0-21)	3	40	<0.001	UCII vs UCIT: 0,760; UCII vs UCIA: 0,278; UCII vs UCIC: <0,001; UCIT vs UCIA: 1,000; UCIT vs UCIC: <0,001; UCIA vs UCIC: <0,001
UCI Trasplante	16,0(14,0-23,0)	23	630		
UCI Adultos	20(15,0-27,0)	7,0	32		
UCI Coronaria	6,0(2,0-8,0)	0	28		

^a Prueba U de Mann-Whitney o Kruskal-Wallis; ^b prueba de Bonferroni. UCII=Unidad de Cuidado Intensivo Intermedia; UCIT=Unidad de Cuidado Intensivo Trasplante; UCIA=Unidad de Cuidado Intensivo Adultos; UCIC=Unidad de Cuidado Intensivo Coronaria.
 Fuente: Construcción propia.

Adherencia y potenciales eventos adversos prevenidos durante la administración de medicamentos endovenosos empleando bombas de infusión inteligentes en cuatro unidades de cuidados intensivos en Colombia

Tabla 3. Primeros 10 Fármacos más frecuentemente implicados en errores absolutos y relativos por servicio durante el periodo de observación.

Medicamento Concentración	Frecuencia	Total de Alertas	Límite Absoluto	Límite Relativo
Total UCI Intermedia ^a				
Solución Salina 0,9% 500 mL	28.113	9.467	191	9.276
Piperacilina Tazobactam por 4,5 gramos/100 mL	1.295	948	82	866
Norepinefrina 8 mg/100 mL	1.295	584	477	107
Solución Lactato Ringer 500 mL	979	280	6	274
Piperacilina Tazobactam 2,25/2,2 gramos/50 mL	318	279	50	229
Heparina 10.000 unidades/100 mL	1.006	242	22	220
Milrinona 20 mg/100 mL	431	218	14	204
Dexmedetomidina 400 mcg/100 mL	832	202	39	163
Lactato Ringer 1000 1000 mL	704	199	5	194
Furosemida 100 mg/100 mL	164	193	9	184
UCI Trasplante ^b				
Norepinefrina 8 mg/100 mL	19.007	7.611	5.395	2.216
Solución Salina 0,9% 500 mL	36.671	5.417	292	5.125
Piperacilina Tazobactam 4,5 gramos/100 mL	2.102	1.717	175	1.542
Nitroglicerina 50 mg/250 mL	4.663	1.407	117	1.290
Solución Lactato Ringer 500 mL	10.310	1.352	60	1.292
Heparina 10.000 unidades/100 mL	1.200	1.187	36	1.151
Fentanilo Hora 2,5 mg/50 mL	1.268	951	61	890
Insulina 50 unidades/50 mL	1.752	823	41	782
Fentanilo 2.500 mcg/50 mL	1.288	823	83	740
Solución al cuarto 20 mEq/500 mL	1.145	637	48	589
Total UCI Adultos ^c				
Solución Salina 0.9% 500 mL	21.641	7.533	177	7.356
Norepinefrina 8 mg/100 mL	19.773	7.381	5.609	1.772
Solución Salina 0.9% 80 mEq/500 mL	9.843	3.871	74	3.797
Piperacilina–Tazobactam 4,5 gramos/100 mL	2.473	2.217	120	2.097
Milrinona 20 mg/100 mL	4.146	1.520	86	1.434
Nitroglicerina 50 mg/250 mL	4.999	1.503	103	1.400
Solución Lactato Ringer 500 mL	2269	768	13	755
Amiodarona 600 mg/100 mL	622	692	25	667
Solución al cuarto 20 mEq/500 ml	574	615	33	582
Piperacilina Tazobactam-2,25 2,2 gramos/50 mL	627	391	67	324
Total UCI Coronaria ^d				
Solución Salina 0,9% 500 mL	20.421	2.371	167	2.204
Norepinefrina 8 mg/100 mL	1293	848	749	99
Furosemida 100 mg/100 mL	467	788	14	774
Solución Bicarbonatada 75 mEq/500 mL	989	633	70	563
Heparina 10.000 unidades/100 mL	1.030	631	22	609
Levosimendan 12,5 mg/500 mL	255	289	150	139
Nitroglicerina 50 mg/250 mL	933	205	24	181
Piperacilina–tazobactam 4,5 gramos/100 ML	157	119	45	74
Tirofiban 12,5 mg/250 mL	92	115	53	62
Dobutamina 100 250 mg/100 mL	417	104	6	98

^aUnidad de Cuidado Intensivo Intermedia; ^bUnidad de Cuidado Intensivo Trasplante; ^cUnidad de Cuidado Intensivo Adultos; ^dUCIC=Unidad de Cuidado Intensivo Coronaria.

Fuente: Construcción propia.

Discusión

En este estudio se encontró que el uso de bombas inteligentes cuenta con buena adherencia y adherencia a la seguridad por parte del personal de enfermería y que además puede contribuir en una pequeña reducción de potenciales eventos adversos asociados a la administración de medicamentos endovenosos, siendo la UCI trasplante y la UCI coronaria las que presentaron un mejor comportamiento en los indicadores de adherencia y seguridad, así como un mayor efecto sobre la prevención de potenciales eventos adversos. Adicionalmente, se evidenció que los líquidos endovenosos (Solución Salina, Lactato de Ringer), la Norepinefrina, la Piperacilina-Tazobactam, la Nitroglicerina y la Heparina fueron los medicamentos que se asociaron a mayor número de alertas de tipo límite relativo en las cuatro unidades.

Este estudio recopiló la mayor cantidad de información que se haya descrito hasta el momento en Colombia acerca del uso de bombas de infusión inteligentes para la administración segura de medicamentos endovenosos en las unidades de cuidados intensivos. En este sentido, únicamente se han realizado investigaciones en donde se describe la experiencia de la implementación de este tipo de programas en su etapa inicial^{12,18}.

Como datos relevantes, se encontró que durante los 25 meses analizados en las cuatro UCI se realizaron un total de 336.206 infusiones, de las cuales 305.494 usaron el Software de seguridad y 30.712 correspondieron a infusiones simples. Se presentaron 78.299 alertas de seguridad dentro de las cuales están por ejemplo la activación en la detención de infusión, la duración de la misma, el cálculo de dosis erróneas, la ubicación de la oclusión, la modificación de la bomba tras la emisión de alertas, las alertas ignoradas, entrada de aire en el equipo por inadecuada programación inicial, entre otras. Después de realizar una auditoria detallada, se logró evidenciar que gracias a la utilización de estas bombas se previnieron un 4,54% (n=16.288) de potenciales eventos adversos con respecto al total de alertas presentadas, que estaban relacionados con dosis superiores de administración de medicamentos (excedían el límite absoluto) por lo que la enfermera responsable se encargaba de reprogramar el flujo de infusión hasta la corrección del error emitido por la bomba como alerta y de este modo la prevención del daño al paciente. Este último aspecto como ya se ha descrito, ha demostrado un efecto positivo en la disminución de los errores relacionados con la administración de medicamentos en las unidades de cuidados intensivos¹⁹.

Un estudio similar al presente, fue un trabajo realizado en España, donde describieron la experiencia en el manejo de bombas de infusión inteligentes en una UCI neonatal, observando un total de 44.924 infusiones en las cuales se registró un 2,5% con errores de límite absoluto (dosis por encima del establecido en la farmacoteca), así como una adherencia del 73%²⁰. Este último valor es similar al descrito en el presente trabajo en el cual la adherencia fue del 74%. Así mismo, al descrito por Manrique, et al.²¹, en donde en una UCI pediátrica se encontró un porcentaje de cumplimiento de la farmacoteca del 92%.

Adicionalmente y con respecto a la mediana de adherencia, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el primer y segundo año (69,15% Vs 84,2%). Estas frecuencias son similares a las halladas en otros estudios realizados pero en unidades como la UCI pediátrica²². En este mismo trabajo se encontró que el 97% de los errores arrojados por el Software se debieron a dosis ingresadas por encima de las programadas en la farmacoteca. De igual manera, este tipo de error fue el más frecuente en los datos obtenidos en el presente trabajo; la diferencia entre estos hallazgos radica en el tipo de medicamentos con los cuales se cometió este error, que incluyeron antibióticos, soluciones isotónicas e inotrópicos, a diferencia del trabajo de Manrique, et al.²² donde fueron más frecuentes los errores con analgésicos, antibióticos, sedantes e inotrópicos.

En este sentido, cabe destacar que aunque los líquidos endovenosos como la Solución Salina y el Lactato de Ringer fueron los medicamentos que presentaron mayores errores, esta situación puede ser explicada dado que en las UCI con frecuencia se suelen prescribir dichos líquidos en forma de bolo, situación que implicaba una clara violación a los límites absolutos y relativos parametrizados en la farmacoteca, entonces para evitar la alerta de la bomba, simplemente al momento de la programación no se seleccionaban estos líquidos de la farmacoteca sino que se programaban sin nombre; la situación anterior pone en evidencia la necesidad prioritaria de diseñar estrategias de ajuste de los límites de infusión en la farmacoteca para los líquidos en mención. Mientras que en el caso de los medicamentos vasoactivos con frecuencia esta situación es dada por la posición del punto en las cifras de la dosis en el menú de la bomba de infusión, debido a que para estos medicamentos las dosis terapéuticas suelen ser muy baja.

De acuerdo con todo lo anteriormente descrito, se muestra un panorama general del uso de las bombas inteligentes para la administración segura de

medicamentos, en la cual se logran evitar errores que pueden poner en riesgo al paciente, demostrando ser estas una barrera que contribuye a la seguridad del paciente. No obstante, el gran reto continúa siendo aumentar la adherencia por parte del personal a este tipo de estrategias. Esta dificultad ha sido descrita en otros estudios, en donde meses después de haber iniciado este programa los porcentajes de adherencia son muy reducidos^{23,24}. Sin embargo, como se evidenció en los presentes hallazgos, se puede lograr una mayor adherencia con el trascurso del tiempo a través de un compromiso y entrenamientos continuados al personal.

Los hallazgos de la contribución de las bombas inteligentes a la reducción de potenciales eventos adversos durante la fase de administración de medicamentos son coincidentes con otros estudios²⁵, en donde luego de un año de la implementación del uso de un programa con 6.000 bombas de infusión inteligentes; se encontró que las enfermeras en seguida de la alerta reprogramaron o cancelaron las infusiones continuas en un promedio de 400 veces por mes, evitando potencialmente la transmisión de eventos adversos al paciente. Así mismo, en una revisión de la literatura acerca del papel de las bombas de infusión inteligentes, se concluyó que dichas bombas establecen un nuevo estándar de seguridad mínimo para las unidades de cuidados intensivos, dado una reducción sustancial en el número de incidentes críticos relacionados con los sistemas de infusión en la UCI, al convertirse en una barrera de seguridad²⁶.

De igual forma, los hallazgos de la presente investigación son coincidentes con un estudio realizado en una UCI, en donde se comparó si el cambio de manera manual de la infusión de los fármacos vasoactivos en comparación con el cambio automatizado a través de bombas de infusión conducía a inestabilidad hemodinámica del paciente; se encontró luego de un periodo de comparación de seis meses, que los incidentes durante la administración del fármaco vasoactivo disminuyeron en un 9% con las bombas inteligentes e igualmente que el uso de las mismas se asoció a una disminución del 49% del riesgo de incidentes (OR: 0.51, IC 95%: 0,34-0,77), así como la reducción significativa del tiempo dedicado por el personal de enfermería en la administración de los fármacos vasoactivos²⁷. Finalmente en un ensayo clínico llevado a cabo en 744 pacientes críticamente enfermos, se concluyó que los errores de medicación intravenosa y los eventos adversos de fármacos fueron frecuentes y se

podieron haber detectado con bombas inteligentes²⁸. Por otro lado, en este estudio se encontró que la unidad de cuidado intensivo coronaria y trasplante en comparación con la adultos e intermedia, presentaron mejores indicadores de seguridad en términos de adherencia, adherencia a la seguridad, potenciales eventos adversos prevenidos y ediciones de alertas de límite relativo. Adicionalmente, que este comportamiento mejoró entre el primer y segundo año y fue estadísticamente significativo en comparación con las demás unidades. Sin embargo, no ocurrió lo mismo para la mediana del número de eventos adversos prevenidos entre el primer y segundo año para todas las unidades en general. Estos resultados podrían ser explicados dado que hubo compromiso directo del personal dirigente del servicio con el entrenamiento de su personal en el programa, así como por las múltiples revisiones realizadas (seis revisiones) a los límites incluidos en la farmacoteca. Además, a lo largo de la implementación del programa se realizaban presentaciones mensuales empleando gráficas para mostrar los resultados del comportamiento de todo los indicadores del mes, así mismo se retroalimentaba de manera positiva al servicio con el mejor comportamiento de adherencia y se exhortaba hacia la mejora a los de menor comportamiento frente a los indicadores del sistema.

Contrario a la contribución positiva encontrada en la presente investigación, en un estudio realizado con el objetivo de evaluar el impacto de la tecnología de infusión inteligente en la administración de anticoagulantes en 355 pacientes; se halló que no hubo diferencias en el número de errores presentes por todas las causas antes y después de la implementación del programa de bombas de infusión inteligentes²⁹. Así mismo, en una investigación realizada con el objetivo de determinar los tipos reales, la frecuencia y la gravedad de los errores de medicación asociados con las bombas, se encontró un total de 426 medicamentos de los cuales 285 (66,9%) tuvieron uno o más errores asociados con su administración, sin embargo, solo un error se habría evitado con la tecnología de bombas inteligentes³⁰. Además, en una investigación realizada en dos UCI de distintos hospitales, se encontró a través de un análisis de correspondencia que de 100 eventos prevenibles presentados, solo cuatro podrían haber sido evitados con el uso de bombas inteligentes³¹.

Finalmente, la implementación de las bombas de infusión inteligentes podría constituir una barrera de seguridad durante la administración endovenosa de medicamentos en las UCI, así mismo una herramienta costo efectiva de prevención, tal y como lo describe

Manrique-Rodriguez, et al.²¹, en donde en una UCI pediátrica se encontró que durante el periodo de análisis se interceptaron 92 errores de programación relacionados con la infusión, lo que llevó a un ahorro de 172.279 euros al prevenir los eventos adversos. Esto significa que se obtendrían 2,15 euros por cada euro invertido en la contratación de un farmacéutico para implementar esta tecnología.

En este sentido en un estudio realizado en México con el objetivo de evaluar el impacto económico de la implementación de bombas de infusión inteligentes en el consumo de soluciones endovenosas (cloruro de sodio al 9%, solución de Hartmann, dextrosa al 5% y 10%, cloruro de sodio al 0.9% con dextrosa al 5%) en una UCI antes de la implementación y posimplementación de software de seguridad Hospira MedNet™; se encontró que la implementación de las bombas inteligentes redujo el consumo anual de soluciones a 8.994 unidades (18%) y 3.649 litros (22.3%). En el primer año, se ahorraron 55.850,97 pesos mexicanos; el uso de la tecnología MedNet™ demostró ser una alternativa de menor costo (17,1% ahorrado) con respecto a los sistemas de infusión convencionales, lo cual llevó a los autores a concluir que la implementación de bombas de infusión inteligente permite ahorros, específicamente para las soluciones endovenosas utilizadas en la UCI³². No obstante es necesario evaluar que el costo de la implementación del sistema incluye la adquisición de las bombas y el entrenamiento del personal que son variables que se tienen que medir a la hora de realizar dicha inversión.

Así mismo, en una investigación llevada a cabo en una UCI en México con objetivo de estimar los costos evitados por las bombas de infusión inteligentes, al prevenir errores de administración intravenosa de sobredosis de insulina en una muestra de 32 infusiones que generaron alertas de límite superior absoluto, se encontró que cada error pudo costar al hospital 104.124,15 pesos mexicanos por manejo de cada evento de hipoglucemia severa y, un costo anual total de 3.331.972,80 pesos mexicanos³³. Por lo tanto, se infiere que estos potenciales eventos adversos prevenidos por las bombas son costosos para las instituciones de salud, lo cual es similar al concepto empleado en el presente estudio (prevención de potenciales eventos adversos), solo que a diferencia del anterior en este estudio solo se calculó la frecuencia de los mismos y no su costo.

Por otra parte, una de las principales limitaciones del presente estudio la constituye el hecho que solo se midió la adherencia y los potenciales eventos

adversos en las cuatro unidades en donde había mayor porcentaje de implementación del software y el personal tenía mayor compromiso y entrenamiento con el uso del sistema en comparación con otros servicios de la institución. Otra limitación la constituye el hecho que las bombas de infusión solo detectan errores relacionadas con la dosificación, pero no previenen los errores relacionados con los restantes correctos como lo son el medicamento correcto, el paciente correcto, la vía correcta y la hora correcta; por lo que el componente de entrenamiento del personal en los demás etapas también son aspectos claves en el proceso de administración de los medicamentos.

Este es el primer estudio llevado a cabo en Colombia que evalúa la adherencia y los potenciales eventos adversos prevenidos durante la administración de medicamentos endovenosos empleando bombas de infusión inteligentes en cuatro unidades de cuidados intensivos de una institución de alta complejidad. Se recomienda continuar con la descripción, comparación y evaluación de este tipo de estrategias de seguridad del paciente relacionadas con la administración segura de medicamentos.

En conclusión se encontró una buena adherencia (uso de la farmacia), adherencia a la seguridad (indicador de uso de la bomba) y una pequeña reducción de los potenciales eventos adversos, sin embargo el número de alertas fue considerable. Adicionalmente, es necesario el ajuste de algunos parámetros de la farmacia para medicamentos como la Solución Salina, la Norepinefrina, el Lactato de Ringer, la Piperacilina Tazobactam, la Nitroglicerina y la Heparina.

No obstante el uso de bombas inteligentes constituye una herramienta que podría contribuir en la prevención de errores y potenciales eventos adversos durante la administración de medicamentos endovenosos en las unidades de cuidados intensivos; lo cual la convierte en una barrera de seguridad útil para contribuir a una atención de calidad al paciente; sin embargo esto no exonera la necesidad de entrenamiento del personal para la identificación de los demás correctos.

Agradecimientos

A la compañía Pfizer y a todo el personal de enfermería de la Fundación Cardiovascular de Colombia que apporto en la construcción de la farmacia y al personal asistencial que alimento dicho Software.

Consideraciones éticas

Este estudio contó con aprobación del comité técnico científico y de ética de la Fundación Cardiovascular de Colombia. La información almacenada en las bombas de infusión fue totalmente confidencial y en ningún momento fue revelada la identidad de los pacientes, lo cual permitió cumplir la ley de protección de datos y demás normatividad ética nacional o internacional para la investigación en seres humanos.

Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflicto de intereses.

Referencias

1. Otero. MJ. Prácticas para mejorar la seguridad de los medicamentos de alto riesgo: Ministerio de Sanidad y Consumo. Gobierno de España, 2007.
2. Kliger J. Giving medication administration the respect it is due. *Arch Intern Med.* 2010; 170(8): 690-692. doi: <http://dx.doi.org/10.1001/archinternmed.2010.58>.
3. Gómez-Baraza C, Agustín-Fernández MJ, Palomo-Jiménez PI, Real-Campaña JM, Abad-Sazatornil R. Seguridad en la administración intravenosa de medicamentos mediante bombas de infusión inteligentes. *Farm Hosp.* 2014; 38(4): 276-282. doi: <http://dx.doi.org/10.7399/FH.2014.38.4.1116>.
4. Kliger J, Blegen MA, Gootee D, O'Neil E. Empowering frontline nurses: a structured intervention enables nurses to improve medication administration accuracy. *Jt Comm J Qual Patient Saf.* 2009; 35(12): 604-612. doi: [https://doi.org/10.1016/S1553-7250\(09\)35085-0](https://doi.org/10.1016/S1553-7250(09)35085-0).
5. Pepper GA. Errors in drug administration by nurses. *Am J Health Syst Pharm.* 1995; 52: 390-395. doi: <https://doi.org/10.1093/ajhp/52.4.390>.
6. Leape LL, Bates DW, Cullen DJ, Cooper J, Demonaco HJ, Gallivan T, et al. ADE prevention study group. Systems analysis of adverse drug events. *JAMA.* 1995; 274: 35-43. doi: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.1995.03530010049034>.
7. Keers RN, Williams SD, Cooke J, Ashcroft DM. Causes of medication administration errors in hospitals: a systematic review of quantitative and qualitative evidence. *Drug Saf.* 2013; 36(11): 1045-1067. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s40264-013-0090-2>.
8. Hug BL, Keohane C, Seger DL, Yoon C, Bates DW. The costs of adverse drug events in community hospitals. *Jt Comm J Qual Patient Saf.* 2012; 38(3): 120-126. doi: [https://doi.org/10.1016/S1553-7250\(12\)38016-1](https://doi.org/10.1016/S1553-7250(12)38016-1).
9. Otero MJ, Codina C, Robles D. Programa multidisciplinario de prevención de errores de medicación en un hospital. *Rev Calidad Asistencial.* 2005; 20(2): 79-89. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1134-282X\(08\)74727-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1134-282X(08)74727-4).
10. Rothschild JM, Keohane CA, Cook EF, Orav EJ, Burdick E, Thompson S. A controlled trial of smart infusion pumps to improve medication safety in critically ill patients. *Crit Care Med.* 2005; 33(3): 533-540. doi: <http://dx.doi.org/10.1097/01.ccm.0000155912.73313.cd>.
11. Manrique-Rodríguez S, Fernández-Llamazares CM, Herranz-Alonso A, Sanjurjo-Sáez M. Bombas de infusión inteligentes: luces y sombras de una tecnología en desarrollo. *Med Clin (Barc).* 2011; 137(8): 361-365. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.016>.
12. Manrique-Rodríguez S, Sánchez-Galindo A, Fernández-Llamazares CM, López-Herce J, García-López I, Carrillo-Álvarez A, et al. Developing a drug library for smart pumps in a pediatric intensive care unit. *Artif Intell Med.* 2012; 54(3): 155-161. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.artmed.2011.12.001>.
13. Trbovich PL, Pinkney S, Cafazzo JA, Easty AC. The impact of traditional and smart pump infusion technology on nurse medication administration performance in a simulated inpatient unit. *Qual Saf Health Care.* 2010; 19(5): 430-434. doi: <http://dx.doi.org/10.1136/qshc.2009.032839>.
14. Trbovich PL, Jeon J, Easty A. Smart medication delivery systems: Infusion Pumps. In: group Hhf, ed. Toronto: University Health Network, 2009.
15. Ohashi K, Dalleur O, Dykes PC, Bates DW. Benefits and risks of using smart pumps to reduce medication error rates: a systematic review. *Drug Saf.* 2014; 37(12): 1011-1020. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s40264-014-0232-1>.
16. Ibarra-Pérez R, Puértolas-Balint F, Lozano-Cruz E, Zamora-Gómez SE, Castro-Pastrana LI. Intravenous Administration Errors intercepted by smart infusion technology in an adult intensive care unit. *J Patient Saf.* 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1097/PTS.0000000000000374>.
17. Manrique-Rodríguez S, Sánchez-Galindo AC, Fernández-Llamazares CM, Calvo-Calvo MM, Carrillo-Álvarez Á, Sanjurjo-Sáez M. Safe intravenous administration in pediatrics: A 5-year Pediatric Intensive Care Unit experience with smart pumps. *Med Intens.* 2016; 40(7): 411-421. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2016.01.011>.

18. Torres IA. Implementación de una tecnología de bombas de infusión inteligentes. Una estrategia para mejorar la seguridad en el manejo de la terapia intravenosa del paciente en estado crítico. *Rev Enferm.* 2011; 14(3):1-10.
19. Pang RKY, Kong DCM, de Clifford JM, Lam SS, Leung BK. Smart infusion pumps reduce intravenous medication administration errors at an Australian teaching hospital. *J Pharm Pract Res.* 2011; 41: 192-195. doi: <https://doi.org/10.1002/j.2055-2335.2011.tb00860>.
20. Bergon-Sendin E, Perez-Grande C, Lora-Pablos D, Moral-Pumarega MT, Melgar-Bonis A, Peña-Peloché C, et al. Smart pumps and random safety audits in a Neonatal Intensive Care Unit: a new challenge for patient safety. *BMC Pediatr.* 2015; 15(206): 1-10. doi: <http://dx.doi.org/10.1186/s12887-015-0521-6>.
21. Manrique-Rodríguez S, Sanchez-Galindo AC, Lopez-Herce J, Calleja-Hernandez MA, Martínez-Martínez F, Iglesias-Peinado I, et al. Implementing smart pump technology in a pediatric intensive care unit: a cost-effective approach. *Int J Med Inform.* 2014; 83: 99-105. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2013.10.011>.
22. Manrique-Rodríguez S, Sánchez-Galindo AC, López-Herce J, Calleja-Hernández MÁ, Martínez-Martínez F, Iglesias-Peinado I, et al. Impact of implementing smart infusion pumps in a pediatric intensive care unit. *Am J Health Syst Pharm.* 2013; 70(21):1897-906. doi: <http://dx.doi.org/10.2146/ajhp120767>.
23. Kennerly J, Jenkins A, Lewis AN, Eckel SF. Implementing smart pumps for epidural infusions in an academic medical center. *Am J Health Syst Pharm.* 2012; 69(7): 607-611. doi: <http://dx.doi.org/10.2146/ajhp110477>.
24. McCartney P. Evidence for practice with smart infusion pumps. *Am J Matern Child Nurs.* 2014; 39(4): 270. doi: <http://dx.doi.org/10.1097/NMC.0000000000000053>.
25. Skledar SJ, Niccolai CS, Schilling D, Costello S, Mininni N, Ervin K, et al. Quality-improvement analytics for intravenous infusion pumps. *Am J Health Syst Pharm.* 2013; 70(8): 680-686. doi: <http://dx.doi.org/10.2146/ajhp120104>.
26. Murdoch LJ, Cameron VL. Smart infusion technology: a minimum safety standard for intensive care? *Br J Nurs.* 2008; 17(10): 630-636. doi: <http://dx.doi.org/10.12968/bjon.2008.17.10.29476>.
27. Cour M, Hernu R, Bénet T, Robert JM, Regad D, Chabert B, et al. Benefits of smart pumps for automated changeovers of vasoactive drug infusion pumps: a quasi-experimental study. *Br J Anaesth.* 2013; 111(5): 818-824. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/bja/aet199>.
28. Rothschild JM, Keohane CA, Cook EF, Orav EJ, Burdick E, Thompson S, et al. A controlled trial of smart infusion pumps to improve medication safety in critically ill patients. *Crit Care Med.* 2005; 33(3): 533-540. doi: <http://dx.doi.org/10.1097/01.ccm.0000155912.73313.cd>.
29. Fanikos J, Fiumara K, Baroletti S, Luppi C, Saniuk C, Mehta A, et al. Impact of smart infusion technology on administration of anticoagulants (unfractionated Heparin, Argatroban, Lepirudin, and Bivalirudin). *Am J Cardiol.* 2007; 99(7): 1002-1005. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amjcard.2006.10.069>.
30. Husch M, Sullivan C, Rooney D, Barnard C, Fotis M, Clarke J, et al. Insights from the sharp end of intravenous medication errors: implications for infusion pump technology. *Qual Saf Health Care.* 2005; 14(2): 80-86. doi: <http://dx.doi.org/10.1136/qshc.2004.011957>.
31. Nuckols TK1, Bower AG, Paddock SM, Hilborne LH, Wallace P, Rothschild JM, et al. Programmable infusion pumps in ICUs: an analysis of corresponding adverse drug events. *J Gen Intern Med.* 2008; 23(Suppl 1): 41-45. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11606-007-0414-y>.
32. Palacios-Rosas E, Soria-Cedillo IF, Puértolas-Balint F, Ibarra-Pérez R, Zamora-Gómez SE, Lozano-Cruz E, et al. Impact of implementing smart infusion pumps in an Intensive Care Unit in Mexico: A pre-post cost analysis based on intravenous solutions consumption. *Hosp Pharmacy.* 2018; 1-6. doi: <https://doi.org/10.1177/0018578718786943>.
33. Puértolas-Balint F, Ibarra-Pérez R, Soria-Cedillo IF, Zamora-Gómez SE, Lozano-Cruz E, Amezcua-Gutiérrez MA, et al. Costos evitados por bombas de infusión inteligentes al interceptar errores por sobredosificación de insulina en una unidad de cuidados intensivos. *Rev Mex C Farm.* 2016; 47(4): 40-56.