

Análisis y diseño de un sistema orientado al seguimiento y control a distancia de pacientes con enfermedad renal crónica en diálisis peritoneal

Joseph Rodiz Cuevas¹, Eduardo López Domínguez¹,
Yesenia Hernández Velázquez¹, Marcos Antonio Martínez García²

¹Laboratorio Nacional de Informática Avanzada A.C., Xalapa,
México

²Hospital General de Zona No. 11 del IMSS, Xalapa,
México

jrodiz.mca13@lania.edu.mx, {elopez, yhernandez}@lania.mx,
marcos.martinezg@imss.gob.mx

Resumen. Las personas que padecen ERC (Enfermedad Renal Crónica) deben estar en revisión constante para mantener un control y seguimiento de la enfermedad y así evitar complicaciones. Tomando en cuenta la importancia del control de un paciente con ERC bajo un tratamiento de DP (Diálisis Peritoneal), en este trabajo se plantea el análisis y diseño de un sistema de telemonitorización que lleve a cabo un monitoreo continuo y control a distancia de pacientes en DP. El sistema propuesto está integrado por una aplicación nativa en Android, donde el paciente registra sus recambios dialíticos y datos relevantes, y una aplicación web móvil en la cual el médico puede monitorear el estado del paciente y proporcionar recomendaciones. Nuestro sistema proporciona los siguientes servicios principales: implementación del registro de cuestionarios de DPCA (Diálisis Peritoneal Continua Ambulatoria) y DPA (Diálisis Peritoneal Automatizada), generación de alertas mediante la detección de índices biomédicos fuera de rangos establecidos por el médico, envío de correos electrónicos y mensajes de texto con la ubicación del paciente y detalles del porqué se generó esa alerta, generación de reportes para la lectura y consulta de los datos.

Palabras clave: Seguimiento y control a distancia, sistema, telemonitoreo, enfermedad renal crónica.

1. Introducción

Personas de edad avanzada y con enfermedades crónicas son cada vez más numerosas en nuestro país. Aunque la cronicidad no es algo exclusivo de los mayores, lo cierto es que con la edad aumenta el riesgo de padecer enfermedades y entre ellas enfermedades crónicas [1]. En México, una de las enfermedades crónicas que se encuentra entre las primeras 5 causas de mortalidad general acorde al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) es la Enfermedad Renal Crónica (ERC) [1].

La ERC es una de las principales causas de atención en hospitalización y en los servicios de urgencias [1, 2]. A medida que un paciente va aproximándose a la ERC, deberán irse evaluando las opciones de tratamiento de sustitución renal. Dichas opciones son el trasplante, la hemodiálisis y la Diálisis Peritoneal (DP). Existen diferentes modalidades de DP, siendo la Diálisis Peritoneal Continua Ambulatoria (DPCA) y la Diálisis Peritoneal Automatizada o ciclada (DPA) las mayormente utilizadas [3].

Por lo regular la DP se suele aplicar a diario en el hogar del paciente, el cual debe hacer una serie de cálculos para averiguar si está perdiendo o reteniendo líquidos. Estos cálculos son revisados por un profesional, pero con la desventaja de que no se hace de manera diaria o tan frecuente como se esperaría en caso de una complicación [3]. Es por esto que actualmente se están proponiendo alternativas para el seguimiento y control continuo de un paciente con tratamiento de DP.

Una de estas alternativas para llevar a cabo este seguimiento y control es la telemonitorización. La telemonitorización se define como: El conjunto de sistemas de soporte y servicios médicos, que permite conocer y realizar un seguimiento a distancia de la situación de un paciente y de sus parámetros vitales, de esta manera permite la provisión de asistencia y cuidados de salud a los pacientes en su entorno habitual [4]. En este contexto, la telemonitorización representa una opción para mantener el control y seguimiento de pacientes que se someten a DP.

Específicamente en este artículo se plantea el análisis y diseño de un sistema de telemonitorización que lleve a cabo un monitoreo continuo y control a distancia de pacientes con ERC bajo DP. Para ello, se desarrolla un sistema formado por una aplicación nativa móvil para personas con ERC y una aplicación web móvil que sirva para médicos que traten al paciente. La aplicación móvil nativa ofrece los siguientes servicios al paciente: registros de recambios dialíticos de las diferentes modalidades de DP, gráficas de tendencias, alertas en casos de emergencia, consultar de notificaciones, registro de resultados de laboratorio y consulta de resumen clínico de la terapia a la que el paciente está sometido. Todos los datos son introducidos por el usuario en la aplicación móvil nativa, y enviados a la aplicación web móvil a través de red WiFi o red celular. Por otro lado, la aplicación web móvil proporciona los siguientes servicios al médico: consultar registros de diálisis, consultar resultados de laboratorio, gestionar resúmenes clínicos, configurar rangos biomédicos, generación de notificaciones, recordatorios o recomendaciones, e inquirir sobre alertas generadas en cada uno de sus pacientes.

2. Estado del arte

El estado del arte describe trabajos relacionados [5-16] sobre el tema de telemonitorización de pacientes en diálisis. A partir del análisis de cada uno de ellos, se hace una comparativa de aportes y limitaciones con respecto al sistema propuesto en este artículo. En la Tabla 1 se muestran las diferentes características de los trabajos relacionados.

Los anteriores trabajos [5-16] han presentado propuestas para llevar a cabo un seguimiento y control a distancia de pacientes con ERC; sin embargo, estos trabajos presentan ciertas desventajas. Por ejemplo, varias de estas propuestas están enfocados

a solo un tratamiento, ya sea DPCA o DPA [10, 12, 16], otros trabajos no cuentan con un mecanismo para detectar situaciones de riesgo en caso de que exista algún índice biomédico del paciente fuera de rango, por lo anterior, tampoco se cuenta con un sistema para generar alarmas en caso de que esto sea detectado [7-9, 11, 12, 14-16].

Tabla 1. Análisis de artículos del estado del arte. DPCA: Orientado para diálisis peritoneal continua ambulatoria. DPA: Orientado para diálisis peritoneal automática. MO: Uso de dispositivos móviles. DSR: Si se posee detección de situaciones de riesgos. MGA: Si existe un mecanismo para la generación de alarmas en caso de situaciones de riesgo. MC: Multiplicidad en canales de comunicación. ALR: Almacenamiento local y remoto. SD: Existe un mecanismo de sincronización de datos en caso de pérdida de conexión. HC: Se maneja de una historia clínica. CDP: Consulta de los datos tanto paciente como médico. GR: Generación de recordatorios y recomendaciones al paciente. CRB: Configuración de rangos de los datos biomédicos del paciente. VG: Visualización de los datos en formato de gráficas.

Artículo	DPCA	DPA	MO	DSR	MGA	MC	ALR	SD	HC	CDP	GR	CRB	VG
B. Agroyannis et al [5].	.	.	.	✓	✓	.	.	.	✓	✓	.	.	✓
B. A. Levine et al [6].	✓	✓	.	✓	✓	.	.	.	✓	✓	✓	.	✓
N. Vega Díaz [7].	✓	✓	.	.	.	✓	.	.	.	✓	.	.	.
M. Duplaga y O. M. Winnem [8].	✓	✓	✓	✓	.	.	.
P. Gallar et al [9].	✓	✓
H. Nakamoto [10].	✓	.	✓	✓	✓	.	.	.	✓	✓	.	.	✓
C. Kirsch et al [11].	✓	✓	✓	.	.	✓	.	.	✓	✓	.	.	✓
M. P. Ruíz et al [12].	.	✓	.	.	✓	✓	.
E. Kaldoudi et al [13].	✓	✓	✓	✓	✓	.	✓	.	✓	✓	.	✓	✓
Gómez-Martino et al [14].	✓	✓	✓	✓	.	.	✓
Y. Sota, K. Yamamoto y M. Hirakawa [15].	✓	✓	✓	✓	✓	.	.	✓
H. Nakamoto [16].	.	✓	✓
Sistema de telemonitorización orientada a pacientes con insuficiencia renal crónica.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Por otro lado, algunos sistemas confían el intercambio de datos sobre canales de comunicación fijos o que requieren de una infraestructura privada para los mismos, lo cual genera costos extras para el desarrollo del sistema [5, 7, 9]. Por último, la mayoría de estos trabajos, incluso los más recientes, no cuentan con un sistema para que el

médico pudiera configurar personalmente los rangos biomédicos del paciente, generar recordatorios y/o recomendaciones sobre el tratamiento [5-11, 14-16].

3. Modelo de análisis

El desarrollo del sistema propuesto en este artículo consta de dos aplicaciones con arquitecturas diferentes con comunicación entre ellas; para la construcción de cada aplicación se utilizó ICONIX [17] como metodología de desarrollo formal. Para el desarrollo de software en ésta metodología se utilizan modelos de diseño tales como: la arquitectura del sistema, diagramas de casos de uso, robustez y secuencia, modelo de clases y esquema de base de datos, los cuales son presentados en esta sección.

3.1. Casos de uso

El diagrama de casos de uso (Fig. 1), modela las funciones del sistema en dos partes; del lado izquierdo, la aplicación nativa orientada al paciente que muestra las funcionalidades de ésta; del lado derecho, las funcionalidades de la aplicación web móvil que ofrece servicios al médico. Además se establece la relación que indica el envío de la información registrada por el paciente hacia el médico.

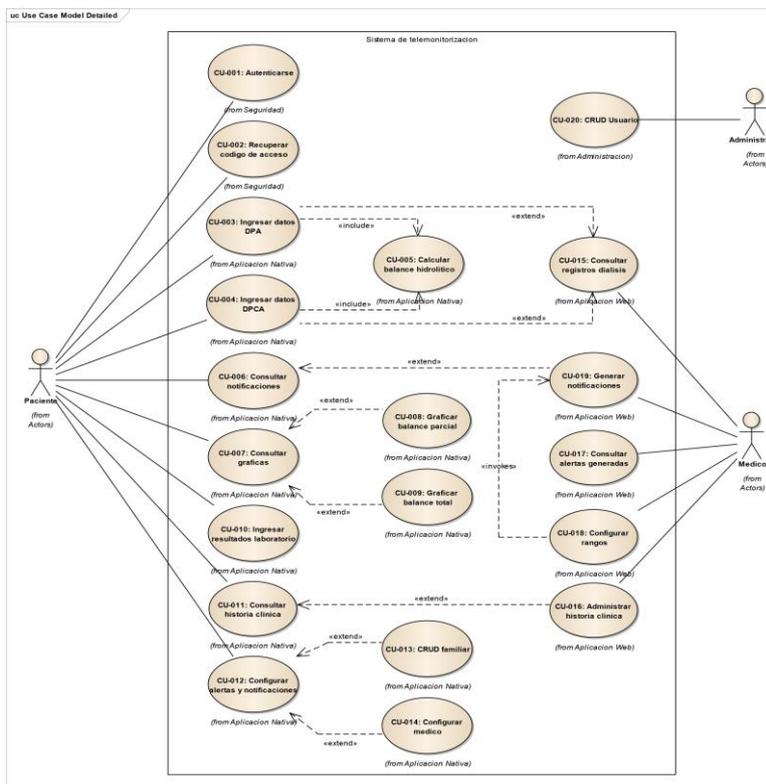


Fig. 1. Diagrama de casos de uso.

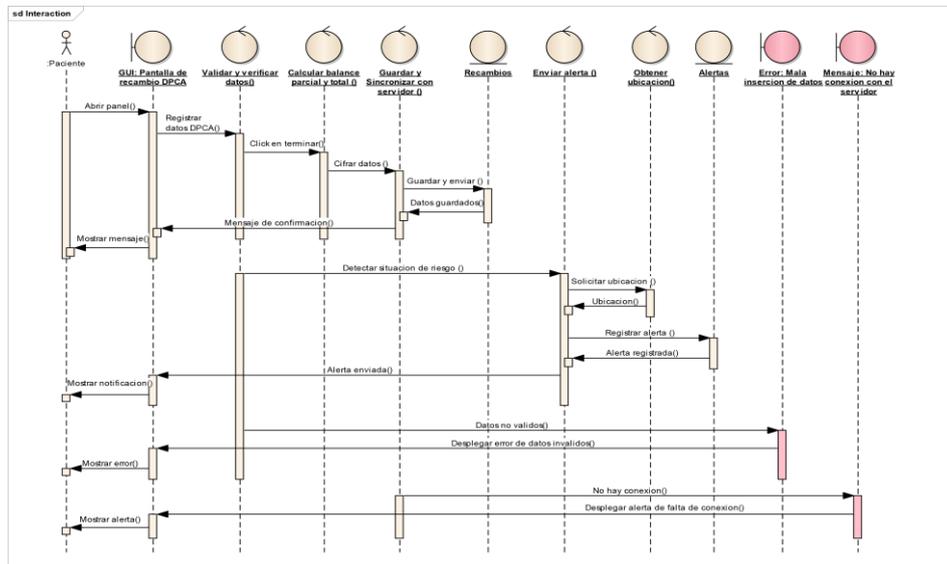
Dentro de los casos de uso relevantes a la aplicación nativa móvil, el actor *paciente* interactúa con funcionalidades tales como: el registro de datos sobre recambios dialíticos (DPCA y DPA) y exámenes clínicos, la consulta de diversos tipos de notificaciones que su(s) médico(s) generen, la consulta de gráficas para que el paciente tenga una noción sobre las tendencias dialíticas de su tratamiento y consulta de historia clínica. En la parte médica, el actor *médico* puede inquirir sobre registros de recambios dialíticos, de exámenes clínicos y alertas generadas por el paciente. Otros servicios tales como configuración de rangos biomédicos (hematocrito, sodio, potasio, albúmina y ultrafiltración), gestión de historia clínica y generación de notificaciones, ya sean recomendaciones, recordatorios, citas o toma de medicamentos, también estarán disponibles en la aplicación web móvil para el médico.

4. Modelo de diseño

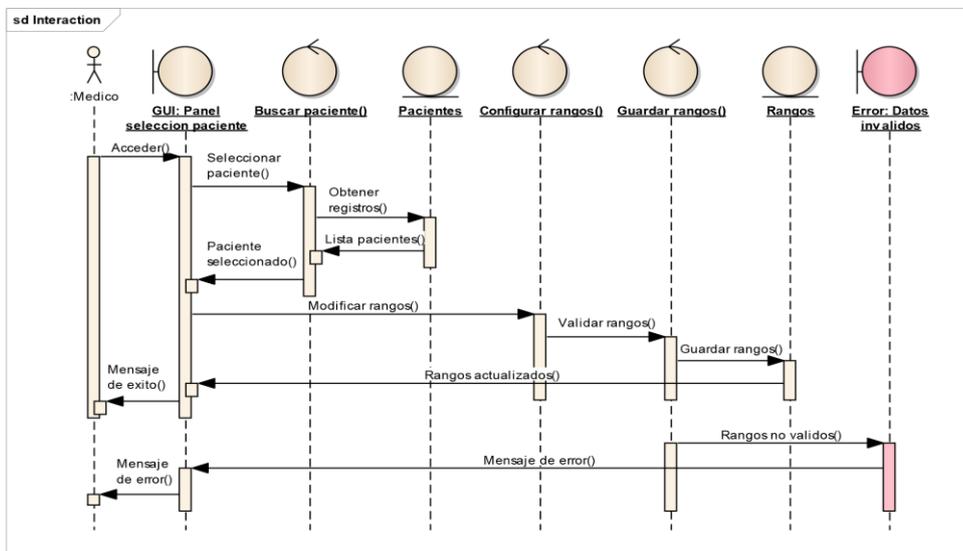
Se han desarrollado diagramas de robustez y de secuencia como parte del proceso de la metodología ICONIX para denotar las actividades esperadas de un caso de uso. A continuación se muestran algunos de los diagramas de secuencia obtenidos a partir de casos de uso descritos en la sección anterior.

4.1. Diagramas de secuencia

Con base en los casos de uso para la aplicación del paciente; CU-004: Ingresar datos DPCA, y de la aplicación web móvil para el médico; CU-018: Configurar rangos, cuyos bosquejos corresponden a los de la Fig. 2a y Fig. 2b, respectivamente, se elaboraron los siguientes diagramas de secuencia.



a)



b)

Fig. 2. Diagrama de secuencia para (a) ingresar datos DPCA y (b) configurar rangos.

Estos diagramas de secuencia describen con mayor detalle los flujos esperados de la interacción de los actores con la aplicación.

4.2. Diagrama de clases

Los diagramas de clases de ambos sistemas están representado por un entorno MVC (Modelo, Vista, Controlador) y modela las clases agrupadas en bloques.

La Fig. 3 representa el diagrama de clases de la aplicación nativa en vista de paquetes. En las vistas está la interfaz gráfica del sistema, en los controladores se realiza la gestión de las vistas y el modelo, a su vez este último gestiona las operaciones sobre la base de datos.

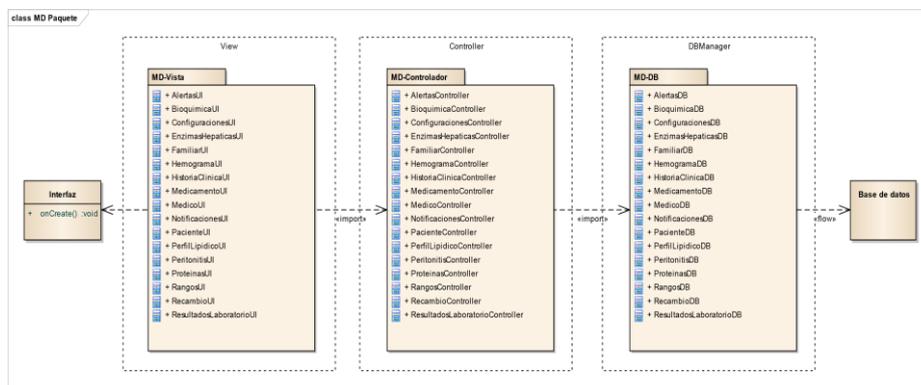


Fig. 3. Diagrama de clases aplicación nativa.

La Fig. 4 representa las clases que componen la estructura lógica de la aplicación web. El paquete de servicios funge como controlador desde una perspectiva MVC. Estos servicios sirven datos para ambas aplicaciones. El paquete de base de datos permanece con la misma estructura con respecto a la aplicación para el paciente descrito en la sección previa.

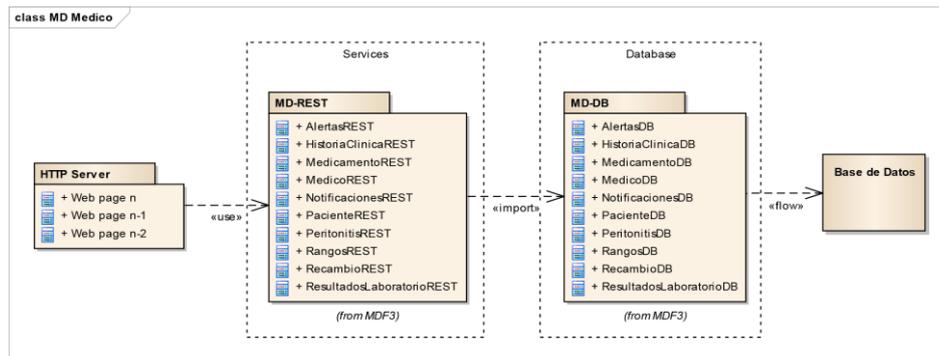


Fig. 4. Diagrama de clases aplicación web móvil.

4.3. Modelo de datos

El modelo de datos describe la estructura de la información que almacena en el sistema en la aplicación nativa (Fig. 5).

Este modelo incluye tablas que también se encuentran en la aplicación web móvil. Debido a que la información es enviada desde la nativa al servidor web se poseen modelos similares en ambas aplicaciones móviles.

5. Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se presentó el análisis y diseño de un sistema de telemonitorización orientado a pacientes con enfermedad renal crónica en diálisis peritoneal. El sistema cuenta con servicios para llevar el seguimiento, control y tratamiento a distancia de la enfermedad. La aportación de este trabajo son los modelos de análisis y diseño de una aplicación móvil nativa con servicios orientados al paciente con ERC, y una aplicación web móvil con servicios para el personal médico. Dentro de los servicios en la aplicación del paciente que destacan son: registro de recambios dialíticos y resultados clínicos afín, consulta de notificaciones, historia clínica, índices dialíticos, generación de alertas y gráficas. Por la parte médica existen servicios de consulta de registros dialíticos, resultados de laboratorio y eventos que generarán una alerta al paciente, administración de historia clínica, configuración de rangos biomédicos, graficación de índices biomédicos, etc.

Como trabajo futuro se consideran aspectos de implementación y pruebas del sistema sobre un pilotaje con pacientes reales. En aspectos tecnológicos se puede inferir en la realización de proyectos basados en la recolección de signos vitales con WSN (Wireless Sensor Network), análisis de datos para la creación de estadísticas y/o

tendencias de muestras poblacionales, minería de datos para pronóstico o detección oportuna de indicios u otras afecciones del paciente.

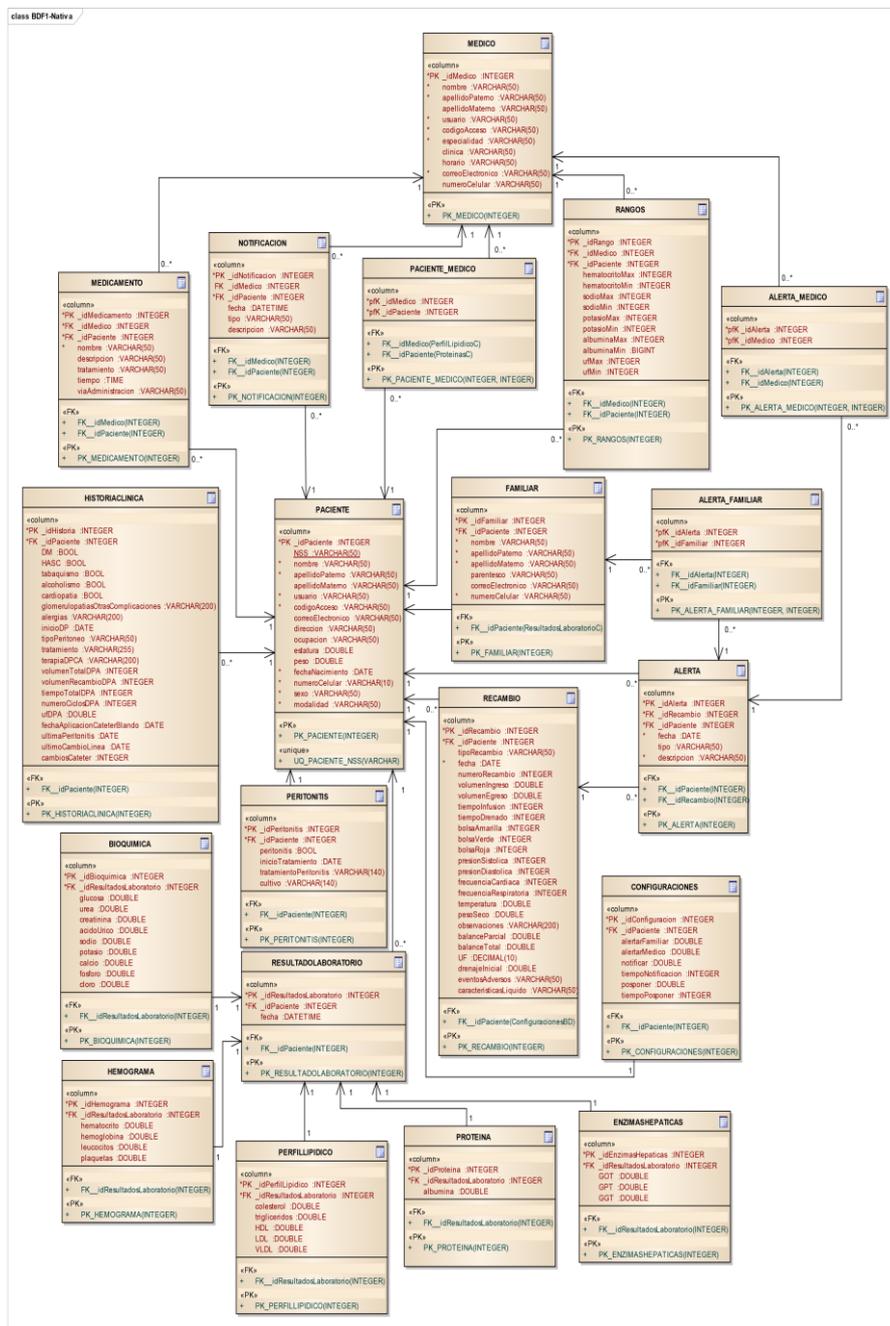


Fig. 5. Modelo de persistencia lógica.

Referencias

1. Méndez, A., Rivera, G.: Microalbuminuria, recurso diagnóstico infravalorado en la detección oportuna de enfermedad renal crónica. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, Vol. 15, No. 4, pp. 237–241 (2010)
2. Treviño, B.A.: Insuficiencia renal crónica: enfermedad emergente, catastrófica y por ello prioritaria. Ed. *Cirugía y Cirujanos*, Vol. 72, No. 1, pp. 3–4 (2004)
3. Rodighiero, C., Aquila, R.: Peritoneal dialysis: A Clinical Update. *Contrib Nephrol Basel*, pp. 181–186 (2006)
4. Sachpazidis, I.: Image and medical data communication protocols for telemedicine and teleradiology. Doctoral dissertation, TU Darmstadt (2008)
5. Agroyannis, B., Fourtounas, C., Romagnoli, G., Skiadas, M., Tsavdaris, C., Chassomeris, C., Tzanatos, H., Kopelias, L., Lymberopoulos, D., Psarras, J.: Telematics Service for Home and Satellite Hemodialysis. Department of Nephrology, Aretaieon University Hospital, Athens, Greece, Vol. 3, No. 1, pp. 61–64 (1999)
6. Levine, B.A., Alaoui, A., Tang-Hu, M., Winchester, J., Mun, S.K.: MyCareTeam Internet Site for Home Peritoneal Dialysis Patients. Department of Radiology, Imaging Science and Information Systems Research Center, Madrid (2000)
7. Vega, N.: Telemedicina aplicada al tratamiento en diálisis peritoneal. IX Congreso Nacional de Informática Médica, Informed (2002)
8. Duplaga, M., Winnem, O.M.: Model of chronic care enabled with information technology. In *Information Technology Solutions for Healthcare*, Springer London, pp. 248–270 (2006)
9. Gallar, P., Gutiérrez, M., Ortega, O., Rodríguez, I., Oliet, A., Herrero, J.C., Mon, C., Ortiz, M., Molina, A., Vigil, A.: Telemedicine and follow up peritoneal dialysis patients. *Servicio de Nefrología, Hospital Severo Ochoa, Madrid*, Vol. 26, No. 1 (2006)
10. Nakamoto, H.: Telemedicine System for Patients on Continuous Ambulatory Peritoneal Dialysis. International Society for Peritoneal Dialysis, Department of Nephrology, Saitama Medical University, Saitama, Japan, Vol. 27, No. 1 (2007)
11. Kirsch, C., Mattingley-Scott, M., Muszynski, C., Schaefer, F., Weiss, C.: Monitoring chronically ill patients using mobile technologies. *IBM JOURNAL* (2007)
12. Ruíz, M.P., Barril, G., Fernández, A., García, P., Gómez, A., Sánchez, J.A.: La nueva tecnología puede mejorar la calidad de vida de los pacientes renales. *RevistaeSalud.com*, Vol. 3, No. 10 (2007)
13. Kaldoudi, E., Passadakis, P., Panagoutsos, S., Vargemezis, V.: Homecare Telematics for Peritoneal Dialysis. *The Journal on Information Technology in Healthcare, Greece*, 5, pp. 372–378 (2007)
14. Gómez-Martino, J.R., Suárez, M.A., Gallego, S., González, P.M., Covarsi, A., Castellano, I., Novillo, R., Deira, J.L., Marigliano, N., Giménez, J.J.: Telemedicina aplicada a la nefrología. Otra forma de consulta, Sección Nefrología, Hospital San Pedro de Alcántara, 4, pp. 407–412 (2008)
15. Sota, Y., Yamamoto, K., Hirakawa, M.: Support of Self-Management for Chronic Kidney Failure Patients. Shimane University, Japan (2011)
16. Nakamoto, H.: How Automated Peritoneal Dialysis Is Applied and Maintained in Japan. Department of General Internal Medicine, Saitama Medical University, Saitama, Japan, 177, pp. 13–23 (2012)
17. Rosenberg, D., Stephens, M.: Use Case Driven Object Modeling with UML. APRESS, pp. 1–22 (2007)