

Diseño de una Interfaz entre la Monitorización del Enfermo Crítico y el Sistema Domótico de una Unidad de Cuidados Intensivos Inteligente

B. Corrêa Volpini¹, J.M. Nicolás Arfelis², N. Vidal Martínez³, P. Castro Rebollo², S. Fernández Mendez²

¹ Fundació Clínic per a la Recerca Biomèdica, Barcelona, España, bcorrea@clinic.cat

² Área de Vigilancia Intensiva, Hospital Clínic de Barcelona, Universidad de Barcelona, Barcelona, España, {nicolas, pcastro, sfernand}@clinic.cat

³ Departamento de Electrónica, Facultad de Física de la Universidad de Barcelona, Barcelona, España, nvidal@ub.edu

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo de una interfaz entre la monitorización del enfermo crítico y el sistema domótico de una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) inteligente. Se busca prestar un proceso asistencial más seguro a los pacientes a través de la creación de un entorno domótico en situaciones de riesgo, de la distribución inteligente de la información y de la aplicación de buenas prácticas clínicas. La interfaz está compuesta por la recogida de datos clínicos en tiempo real, por la habilitación de una alerta clínica basada en el análisis de los datos recogidos y por la generación de una respuesta domótica en la unidad. El funcionamiento global de la interfaz y la activación de tres tipos de alertas clínicas – el Código Azul, Rojo y Amarillo – son simulados usando un software experimental. La interfaz desarrollada sería una herramienta útil en el proceso de decisión clínica, dado que podría anticipar los eventos clínicos y adaptarse a las prácticas clínicas diarias realizadas en la UCI.

1. Introducción

La complejidad de la práctica médica puede provocar en ocasiones una combinación de factores que den lugar a eventos adversos prevenibles en la salud del paciente [1]. Para minimizarlos, el Hospital Clínic de Barcelona (HCB) está llevando a cabo diversas iniciativas que se centran en tres pilares principales: el uso de la tecnología, la comunicación de la información clínica, y la formación del personal médico a través de formación continuada [2]. El HCB es considerado uno de los mejores centros sanitarios de referencia de España e incluso de ámbito internacional, teniendo una larga tradición en investigación e innovación. La Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) es un área hospitalaria en la cual se realiza el cuidado de pacientes críticos y que está aplicando estos tres pilares de la investigación.

Los dispositivos médicos conectados a los pacientes en una UCI – como las bombas de infusión, las máquinas de hemofiltración, los monitores de signos vitales, así como los ventiladores mecánicos – son responsables del 30% de los incidentes críticos que podrían desencadenar un evento adverso prevenible [3][4]. Así, por ejemplo, las alarmas sonoras generadas por los monitores de signos

vitales, crean fatiga en el personal médico, dado que sólo un 15% del total de estas alarmas tienen significado clínico relevante, comprometiendo la seguridad de los pacientes [5].

Algunos autores proponen el uso de la inteligencia artificial y de la estadística avanzada para reducir las falsas alarmas generadas por los dispositivos médicos. El método *ANOVA* [6], la técnica del *data mining* [7] y los algoritmos de *machine learning* [8] están entre los más estudiados. Otros autores proponen el uso de sistemas de detección precoz de deterioro [9], que usan un algoritmo para evaluar un conjunto de parámetros vitales de los pacientes durante su estancia y, consecuentemente, predicen situaciones potenciales de riesgo.

El término *domótica* se define como el conjunto de tecnologías usadas para automatizar de forma inteligente las viviendas, aportando seguridad y confort a los usuarios [10][11]. Los sistemas domóticos permiten hacer una gestión eficiente del uso de la energía y establecer comunicación entre el usuario y el sistema. Además, también permiten controlar las luces, puertas, ventanas, persianas, sistemas de audio, climatización, alarmas de incendio, electrodomésticos y la telecomunicación, entre otros dispositivos. La domótica también puede ser aplicada en otros entornos, como en la industria, hoteles, hospitales, edificios comerciales, espacios públicos y universidades.

Concretamente en el entorno hospitalario, la domótica viene siendo aplicada bajo el concepto de “inteligencia en el entorno”, propuesta por Weiser en 1991[12]. En este caso, las tecnologías están completamente integradas en el diseño de los entornos, sin que el usuario se dé cuenta, y son capaces de identificar sus necesidades, así como el momento y el lugar donde son requeridas. Cuando una nueva emergencia hospitalaria ocurre en un entorno inteligente, este entorno es capaz de adaptarse de la mejor manera posible para ayudar al personal médico en el proceso asistencial.

Un hospital inteligente es un hospital donde todos los procesos están automatizados, interconectados y bajo las tecnologías de la información y comunicación (TIC) para

lograr una mejor atención y cuidado de los pacientes, así como para introducir nuevas funcionalidades en el entorno [13][14]. El objetivo del presente trabajo consistió en desarrollar un prototipo de una interfaz entre la monitorización del enfermo crítico y el sistema domótico de una UCI inteligente. Se busca prestar un proceso asistencial más seguro a los pacientes a través de la creación de un entorno domótico en situaciones potenciales de riesgo, de la distribución inteligente de la información y de la aplicación de buenas prácticas clínicas.

El artículo está dividido en 4 secciones. En la sección 2 y en la sección 3 se presenta la arquitectura y el desarrollo del prototipo de la interfaz, respectivamente. Finalmente, en la sección 4 se exponen las principales conclusiones y futuras direcciones.

2. Arquitectura

La arquitectura de la interfaz entre la monitorización clínica y la domótica de una UCI inteligente está dividida en tres partes, tal como se enseña en la Figura 1.

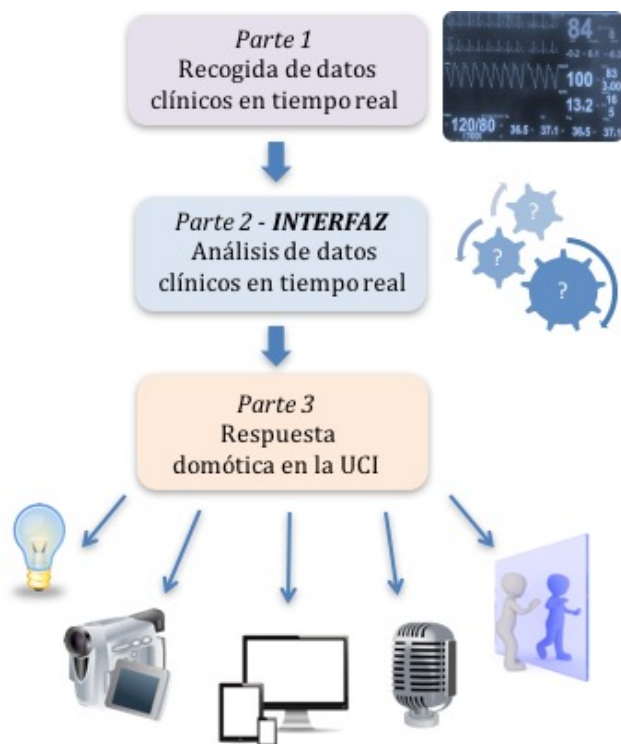


Figura 1. Arquitectura de la interfaz entre la monitorización del enfermo crítico y el sistema domótico de una UCI inteligente.

La primera parte del proyecto está constituida por la recogida de datos clínicos provenientes de los dispositivos de monitorización clínica. Los datos obtenidos en tiempo real son guardados en una base de datos de un servidor de pruebas en una red aislada y protegida contra ciberataques. Además, es importante resaltar que la información demográfica que identifica al paciente no es recogida. Se asigna un código interno y único para cada individuo.

A continuación, en la segunda parte, los médicos y las enfermeras habilitarían una alerta clínica personalizada para cada paciente a través de una interfaz, que contiene

una combinación lógica de los parámetros vitales de más interés. Esta interfaz estaría instalada en los ordenadores de control de la enfermería y en las tablets usadas por las enfermeras en el momento de la atención al paciente. Una vez que la alerta clínica fuese habilitada por el personal médico o fuese habilitada de forma automática por la detección de un nuevo ingreso en la unidad, la interfaz analizaría los datos de forma continua y detectaría las alertas previamente habilitadas.

Por último, en la tercera parte, cuando ocurriera la activación de una de las alertas, la interfaz generaría una respuesta domótica en la UCI, modificando su entorno físico y transmitiendo información útil basada en el rol de cada profesional y en el contexto clínico de cada paciente en un determinado momento. La respuesta domótica está constituida por la ejecución de acciones ambientales predefinidas, que pueden ser clasificadas en dos categorías: acciones audiovisuales y acciones informativas.

Las acciones audiovisuales programadas en la interfaz son:

- Activación de un conjunto de luces dentro de la habitación del paciente y en la estación de enfermería.
- Apertura automática de las puertas de las habitaciones.
- Los cristales de las puertas y ventanas de las habitaciones se vuelven opacos.
- Conexión de la video-monitorización.
- Alerta sonora característico emitido por los altavoces de la estación de enfermería.
- Alerta visual a través de los dispositivos móviles de la estación de enfermería, que incluyen las tablets, los ordenadores y los monitores de televisión.

Las acciones informativas implementadas en la interfaz engloban:

- Notificación de la alerta clínica al personal médico responsable en todo el hospital a través de los móviles.
- Geo-localización del personal médico que está dentro de la UCI usando los sistemas de localización en tiempo real y respectiva notificación de la alerta a través de las tablets de la ubicación de donde se encuentra.
- Distribución de la información clínica de interés de forma adaptativa y dinámica en el propio entorno.
- Informe sobre las tendencias de los parámetros clínicos al personal médico.

Las notificaciones informan sobre la ubicación donde ha ocurrido la alerta clínica y sobre cómo evoluciona la situación de gravedad del paciente. Para generar la respuesta domótica en la UCI descrita arriba la unidad necesita estar dotada de un conjunto de módulos electrónicos inteligentes (MEIs) – sensores y actuadores – que se intercomunican a través de la red por cable y/o por Wifi. Cuando haya una alerta clínica, el servidor de los datos clínicos establece una conexión segura con los MEIs usando el protocolo HTTPS y el certificado SSL del hospital. El desarrollo de los elementos de la arquitectura

del presente trabajo será descrito con más detalle a continuación.

3. Desarrollo

Una aplicación de escritorio fue desarrollada en C# usando Visual Studio [15] y la base de datos MySQL [16] para simular el funcionamiento de todo el sistema. Hemos usado un maniquí de soporte vital avanzado de Laerdal® para obtener datos clínicos experimentales en tiempo real.

La aplicación lee los datos del monitor de signos vitales que está conectado al maniquí y empieza a analizar los datos cuando una alerta clínica es habilitada. Cuando una alerta clínica es detectada, un conjunto de acciones audiovisuales e informativas son ejecutadas en el entorno de la UCI.

Para clasificar las alertas clínicas según la gravedad de los pacientes y poder proporcionarles la atención necesaria, hemos definido tres tipos de alertas: el Código Azul, el Código Rojo y el Código Amarillo.

El Código Azul es conocido en el entorno hospitalario por ser una alerta que se activa en el caso de un paro cardiorrespiratorio (PCR) [17], una de las situaciones de alto riesgo para la vida de los pacientes. Es un sistema que genera una rápida respuesta de un equipo sanitario preparado para realizar las maniobras de reanimación cardiopulmonar, la cual debe realizarse en el menor tiempo posible, de forma organizada, sistemática y eficiente, logrando la reducción de la morbi-mortalidad de los pacientes en PCR.

El Código Rojo fue definido por nosotros como un código de alerta de riesgo intermedio dentro de la UCI. Puede ser personalizado para cada paciente o puede ser activado por un algoritmo previamente establecido. Este código fue concebido para notificar a las enfermeras del inicio de la deterioración del estado clínico del paciente y que merece una mayor vigilancia por su parte, para que no se vuelva una situación de alto riesgo.

El Código Amarillo también fue definido por nosotros como un código usado para las situaciones en que es necesario tener privacidad dentro de las habitaciones de la unidad. Cuando este código está activado, los profesionales de la unidad y los profesionales ajenos al servicio no pueden entrar dentro de la habitación. Entre las diversas situaciones, se pueden citar los momentos de la realización de los procedimientos clínicos (pruebas diagnósticas, administración de medicamentos, colocación de catéteres o fisioterapia, entre otros), de la realización de la higiene del paciente y del horario de visitas.

La página principal de la interfaz de la aplicación usada para simular la respuesta domótica del Código Azul, Rojo y Amarillo se muestra en la Figura 2. El prototipo ha tenido en cuenta el diseño de la distribución arquitectónica de una de las UCIs médicas presentes en el HCB. Esta UCI posee cinco habitaciones, llamadas comúnmente “boxes” y numeradas de 0 a 4. Los boxes están aislados acústicamente, por una puerta de cristal, y están dispuestos alrededor de una estación de enfermería

permitiendo una monitorización visual continua de los pacientes. Dentro de los boxes, los pacientes están conectados a muchos dispositivos médicos de monitorización de soporte vital y se genera una enorme cantidad de datos continuamente.

Las acciones audiovisuales e informativas predefinidas para la activación y desactivación de cada código fueron simuladas usando esta aplicación. Adicionalmente, se han considerado las distintas categorías de profesionales que trabajan en la unidad y se han dividido en tres grupos: médico, enfermero y auxiliar. Las familias también son identificadas como un grupo.

La gestión inteligente de los códigos de la UCI está compuesta por una lógica de prioridades, que permite notificar y enseñar, en primer lugar, las alertas de más importancia y posteriormente las de menos importancia, tanto en la propia unidad como a través de los dispositivos móviles de los profesionales que puedan encontrarse en otras ubicaciones del hospital.

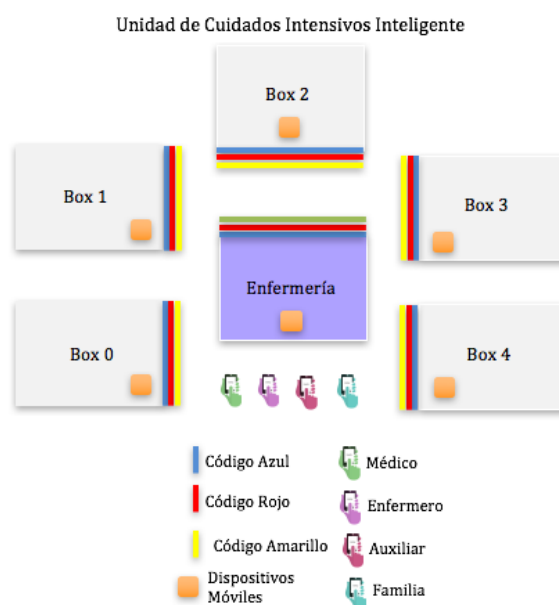


Figura 2. Página principal de la interfaz en la cual se presenta la visualización de la distribución de la información en una UCI del HCB.

4. Conclusiones y Futuras Direcciones

Se ha diseñado un prototipo de una interfaz entre la monitorización del enfermo crítico y el sistema domótico de una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) inteligente. La interfaz está compuesta por tres partes: la recogida de datos clínicos en tiempo real, la habilitación de una alerta clínica con el respectivo análisis de los datos y la generación de una respuesta domótica en la UCI. Se desarrolló una aplicación para simular el funcionamiento de la interfaz usando el diseño de la distribución arquitectónica de una de las UCIs del HCB.

Esta interfaz sería útil para optimizar el tiempo de respuesta del proceso asistencial en situaciones de emergencia, además de facilitar el trabajo del equipo médico y ser un soporte a la decisión clínica. También podría ayudar a identificar situaciones puntuales de riesgo

y a reducir el número de eventos adversos prevenibles en los pacientes ingresados, mejorando la seguridad de los pacientes en los hospitales. Por tanto, se pretende hacer que la interfaz pueda anticipar los eventos clínicos y adaptarse a las prácticas clínicas diarias realizadas en una UCI. El próximo paso será integrar la actual interfaz a un entorno domótico real y hacer más pruebas con un maniquí de soporte vital avanzado para valorar la fiabilidad de todo el sistema.

Agradecimientos

Agradecemos a los médicos y a las enfermeras de las UCIs del HCB por aportarnos conocimientos, ideas y sugerencias en el diseño de la interfaz.

Referencias

- [1] P. Instruccionales, EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA DE EVENTOS ADVERSOS Y MONITOREO DE ASPECTOS CLAVES RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD DEL PACIENTE, (n.d.). <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/Evaluar-frecuencia-eventos-adversos.pdf> (accessed September 10, 2017).
- [2] Qui som | Hospital Clinic Barcelona, (n.d.). <http://www.hospitalclinic.org/ca/el-clinic/qui-som> (accessed September 29, 2017).
- [3] I.D. Welters, J. Gibson, M. Mogk, R. Wenstone, Major sources of critical incidents in intensive care, (n.d.). doi:10.1186/cc10474.
- [4] D. Massey, L.M. Aitken, W. Chaboyer, The impact of a nurse led rapid response system on adverse, major adverse events and activation of the medical emergency team, *Intensive Crit. Care Nurs.* 31 (2015) 83–90. doi:10.1016/j.iccn.2014.11.005.
- [5] O.M. Cho, H. Kim, Y.W. Lee, I. Cho, Clinical Alarms in Intensive Care Units: Perceived Obstacles of Alarm Management and Alarm Fatigue in Nurses., *Healthc. Inform. Res.* 22 (2016) 46–53. doi:10.4258/hir.2016.22.1.46.
- [6] X. Hu, M. Sapó, V. Nenov, T. Barry, S. Kim, D.H. Do, N. Boyle, N. Martin, Predictive combinations of monitor alarms preceding in-hospital code blue events, *J. Biomed. Inform.* 45 (2012) 913–921. doi:10.1016/j.jbi.2012.03.001.
- [7] S. Agarwal, S.K. Sinha, Data mining based pervasive system design for Intensive Care Unit, in: 2014 Int. Conf. Comput. Commun. Informatics, IEEE, 2014; pp. 1–6. doi:10.1109/ICCCI.2014.6921725.
- [8] L. Chen, A. Dubrawski, D. Wang, M. Fiterau, M. Guillaume-Bert, E. Bose, A.M. Kaynar, D.J. Wallace, J. Guttendorf, G. Clermont, M.R. Pinsky, M. Hravnak, Using Supervised Machine Learning to Classify Real Alerts and Artifact in Online Multisignal Vital Sign Monitoring Data*, *Crit. Care Med.* 44 (2016) e456–e463. doi:10.1097/CCM.0000000000001660.
- [9] D. Hanley, D. Abele, A.J. Alley, K. Smith, N.W. Gaden, N. Phoenix Bittner, Creating a Culture of Safety Through Integration of an Early Warning System, *JONA J. Nurs. Adm.* 46 (2016) 63–68. doi:10.1097/NNA.0000000000000296.
- [10] Qué es Domótica - CEDOM | Asociación Española de Domótica e Inmótica, (n.d.). <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica> (accessed September 10, 2017).
- [11] V. Miori, D. Russo, C. Concordia, Meeting People's Needs in a Fully Interoperable Domotic Environment, *Sensors* 12 (2012) 6802–6824. doi:10.3390/s120606802.
- [12] M. Weiser, The Computer for the 21st Century, (n.d.). <https://www.ics.uci.edu/~corps/phaseii/Weiser-Computer21stCentury-SciAm.pdf> (accessed September 10, 2017).
- [13] Smart hospitals - EU Law and Publications, (n.d.). <https://publications.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/bddc7eec-bc48-11e6-a237-01aa75ed71a1> (accessed June 28, 2017).
- [14] What is an Intelligent Hospital? - IEEE PULSE, (n.d.). <https://pulse.embs.org/november-2014/intelligent-hospital/> (accessed September 10, 2017).
- [15] IDE de Visual Studio, editor de código, Team Services y Mobile Center, (n.d.). <https://www.visualstudio.com/es/?rr=https%3A%2F%2Fwww.google.es%2F> (accessed September 9, 2017).
- [16] MySQL, (n.d.). <https://www.mysql.com/> (accessed September 9, 2017).
- [17] S.E. Eroglu, O. Onur, O. Urgan, A. Denizbasi, H. Akoglu, Blue code: Is it a real emergency?, *World J. Emerg. Med.* 5 (2014) 20–3. doi:10.5847/wjem.j.1920-8642.2014.01.003.