

Avances en Tecnologías de Información

Research in Computing Science

Series Editorial Board

Editors-in-Chief:

Grigori Sidorov (Mexico)
Gerhard Ritter (USA)
Jean Serra (France)
Ulises Cortés (Spain)

Associate Editors:

Jesús Angulo (France)
Jihad El-Sana (Israel)
Jesús Figueroa (Mexico)
Alexander Gelbukh (Russia)
Ioannis Kakadiaris (USA)
Serguei Levachkine (Russia)
Petros Maragos (Greece)
Julian Padget (UK)
Mateo Valero (Spain)

Editorial Coordination:

María Fernanda Ríos Zacarias

Research in Computing Science es una publicación trimestral, de circulación internacional, editada por el Centro de Investigación en Computación del IPN, para dar a conocer los avances de investigación científica y desarrollo tecnológico de la comunidad científica internacional. **Volumen 108**, noviembre 2015. Tiraje: 500 ejemplares. *Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título* No. : 04-2005-121611550100-102, expedido por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. *Certificado de Licitud de Título* No. 12897, *Certificado de licitud de Contenido* No. 10470, expedidos por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores. Queda prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio, sin el permiso expreso del editor, excepto para uso personal o de estudio haciendo cita explícita en la primera página de cada documento. Impreso en la Ciudad de México, en los Talleres Gráficos del IPN – Dirección de Publicaciones, Tres Guerras 27, Centro Histórico, México, D.F. Distribuida por el Centro de Investigación en Computación, Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Esq. Av. Miguel Othón de Mendizábal, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738, México, D.F. Tel. 57 29 60 00, ext. 56571.

Editor responsable: *Grigori Sidorov, RFC SIGR651028L69*

Research in Computing Science is published by the Center for Computing Research of IPN. **Volume 108**, November 2015. Printing 500. The authors are responsible for the contents of their articles. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior permission of Centre for Computing Research. Printed in Mexico City, in the IPN Graphic Workshop – Publication Office.

Volume 108

Avances en Tecnologías de Información

**Jorge Rafael Gutiérrez Pulido,
Erika Margarita Ramos Michel,
Silvia Fajardo Flores (eds.)**



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"



Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación
México 2015

ISSN: 1870-4069

Copyright © Instituto Politécnico Nacional 2015

Instituto Politécnico Nacional (IPN)
Centro de Investigación en Computación (CIC)
Av. Juan de Dios Bátiz s/n esq. M. Othón de Mendizábal
Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, Zacatenco
07738, México D.F., México

<http://www.rcs.cic.ipn.mx>

<http://www.ipn.mx>

<http://www.cic.ipn.mx>

The editors and the publisher of this journal have made their best effort in preparing this special issue, but make no warranty of any kind, expressed or implied, with regard to the information contained in this volume.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored on a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, including electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without prior permission of the Instituto Politécnico Nacional, except for personal or classroom use provided that copies bear the full citation notice provided on the first page of each paper.

Indexed in LATINDEX and Periodica / Indexada en LATINDEX y Periódica

Printing: 500 / Tiraje: 500

Printed in Mexico / Impreso en México

Editorial

Las Tecnologías de Información (TI) abarcan un importante número de temas, incluyendo el diseño, desarrollo, implementación y aplicación de sistemas basados en cómputo y telecomunicaciones. Los investigadores están actualmente generando sistemas capaces de ayudar a pacientes con enfermedades crónicas. También se está estudiando cómo prevenir la obesidad infantil, o proponer nuevos mecanismos para la mejora del aprendizaje de los estudiantes en cursos *b-Learning*. Del mismo modo, el desarrollo los estándares del área de la salud son áreas de interés. Durante los últimos años, se ha estado investigando cómo apropiar las TIC en la educación superior.

Este volumen incluye 16 artículos de investigación con el estado del arte, que fueron revisados y seleccionados cuidadosamente. Esta edición incluye desarrollo de protocolos inteligentes para el control de congestiones en el monitoreo de signos vitales, así como la propuesta de arquitectura para aplicaciones NFC. Estudios para mejorar las experiencias de uso de estudiantes de trabajo social y usuarios de un software para detección de Sigatoka Negra.

Un total de 45 artículos fueron evaluados por pares y la tasa de aceptación fue de 35.6%. El proceso de evaluación se llevó a cabo en conjunto con la Sociedad Mexicana de Ciencia de la Computación y la Asociación Mexicana de Interacción Humano Computadora.

Nos gustaría agradecer a todas las universidades y centros de investigación que enviaron sus trabajos y la colaboración de la Universidad de Colima, la Sociedad Mexicana de Ciencia de la Computación y la Asociación Mexicana de Interacción Humano Computadora.

Flores Cortés Carlos Alberto

Noviembre 2015

Table of Contents

	Page
Análisis y diseño de un sistema orientado al seguimiento y control a distancia de pacientes con enfermedad renal crónica en diálisis peritoneal <i>Joseph Cuevas, Eduardo López, Yesenia Hernández, Marcos Martínez</i>	9
Diseño de un sistema de realidad aumentada para la prevención de obesidad en niños <i>Oseas Gómez, Mabel Briseño, Mónica Tentori</i>	19
Desarrollo de un almacén de datos para el desempeño académico de estudiantes en cursos b-learning <i>Sergio Franco, Sara Hernández</i>	27
Modelo de interoperabilidad de la historia clínica electrónica utilizando HL7-CDA basado en computación en la nube <i>Víctor Velázquez, Mabel Vázquez, Juan Nieto, Juan Sánchez</i>	37
Apropiación de las TIC en la educación superior: una mirada desde la disciplina del profesorado <i>Ana Morales, Alberto Ramírez, Cora Excelente</i>	45
Arquitectura de referencia para aplicaciones con tecnología NFC basadas en Android..... <i>Alejandra Anaya, Ignacio López, Celia Romero, Beatriz Olivares, Hilarión Muñoz</i>	55
i-Co2Q: protocolo inteligente para el control de la congestión consciente de la QoS aplicado al monitoreo de signos vitales <i>Enriqueta Becerra-Sánchez, Antonio Guerrero-Ibáñez, Raymundo Buenrostro-Mariscal</i>	63
Evaluación de un sistema de apoyo para el diagnóstico de Sigatoka Negra..... <i>Jesús Cuevas-Gutiérrez, Carlos Flores-Cortés, Juan Guerrero</i>	73
User Experience Evaluation to El Encanto: a Serious Game for Learning Community Intervention..... <i>Pedro Santana-Mancilla, Miguel Rodríguez-Ortiz, Laura Gaytán-Lugo, Miguel Garcia-Ruiz</i>	81
Flujo de conocimiento para la localización del expertise en el desarrollo de software: implicaciones de diseño <i>José Martínez, Ramón Palacio, Luis-Felipe Rodríguez, Oscar Rodríguez-Elias</i>	89

Potenciando los entornos lúdicos de programación con las interfaces naturales de usuario	97
<i>Pedro Damián-Reyes, María Andrade-Aréchiga</i>	
Modelo de actividades para la caracterización de procesos de toma de decisiones no programadas enmarcadas en escenarios de negociación.....	107
<i>Javier Romero, Paulo Gaona</i>	
¿Cómo motivar al adulto mayor durante su estimulación cognitiva con el uso de aplicaciones tecnológicas?	117
<i>María González, Christian Acosta, Ramón Palacio, Joaquín Cortez</i>	
Umbral adaptivo para sistemas de comunicaciones ópticas inalámbricas por medio de algoritmos de agrupamiento	127
<i>Juan Sánchez, Juan Nieto, Mabel Vázquez, Victor Velázquez</i>	
Construcción de un prototipo de silla de ruedas motorizada de bajo costo para personas con lesión medular	135
<i>Andrés Sandoval, Mónica Carreño, Miguel Espiritu, Israel Durán, Aarón Chávez</i>	
Diseño, desarrollo y pruebas de un electrocardiógrafo virtual utilizando LabVIEW	143
<i>Guadalupe Monrroy, Dayra Zepeda, Saida Ricario, Roberto Ledesma y María Cosío</i>	

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.

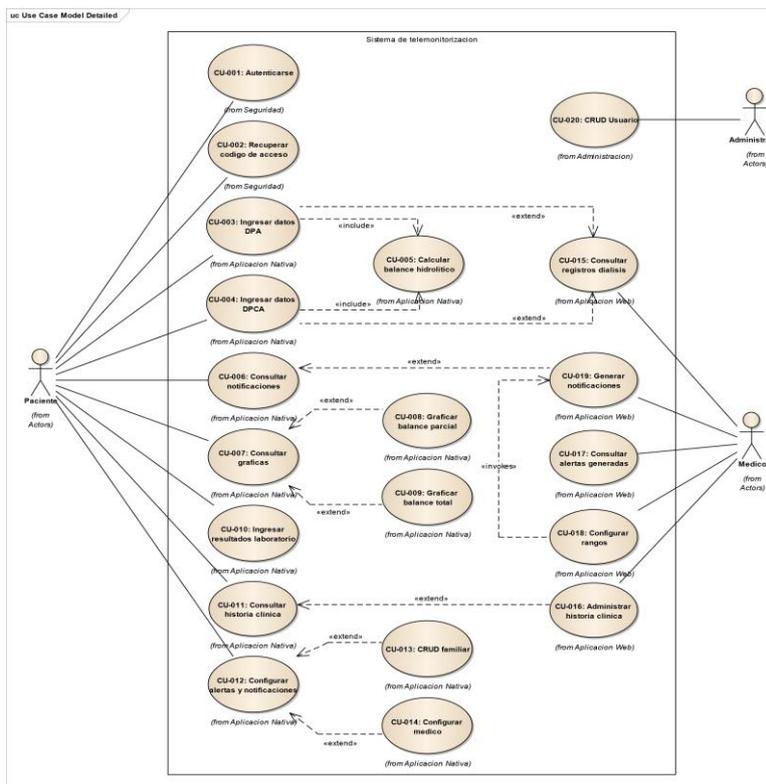


Fig. 1. Diagrama de casos de uso.

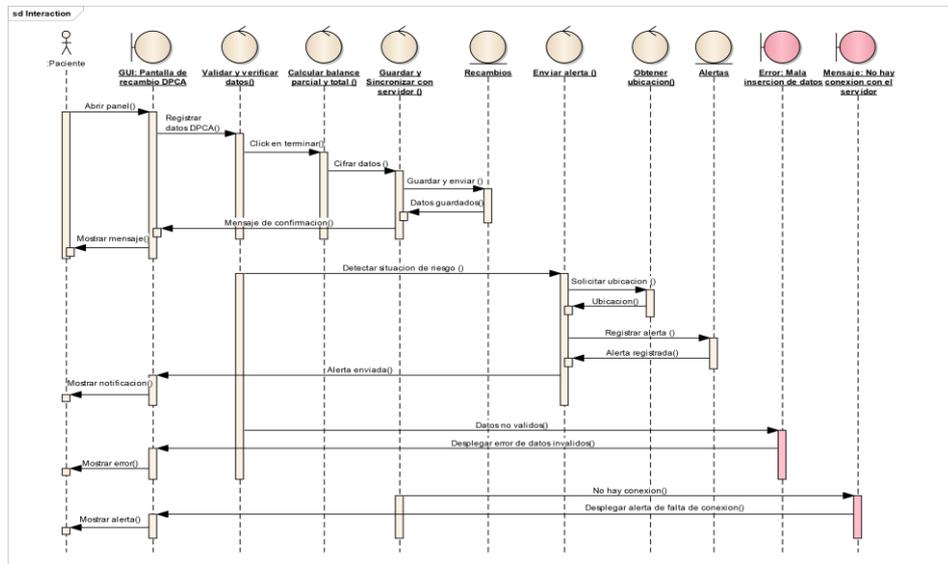
Dentro de los casos de uso relevantes a la aplicación nativa móvil, el actor *paciente* interactúa con funcionalidades tales como: el registro de datos sobre recambios dialíticos (DPCA y DPA) y exámenes clínicos, la consulta de diversos tipos de notificaciones que su(s) médico(s) generen, la consulta 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

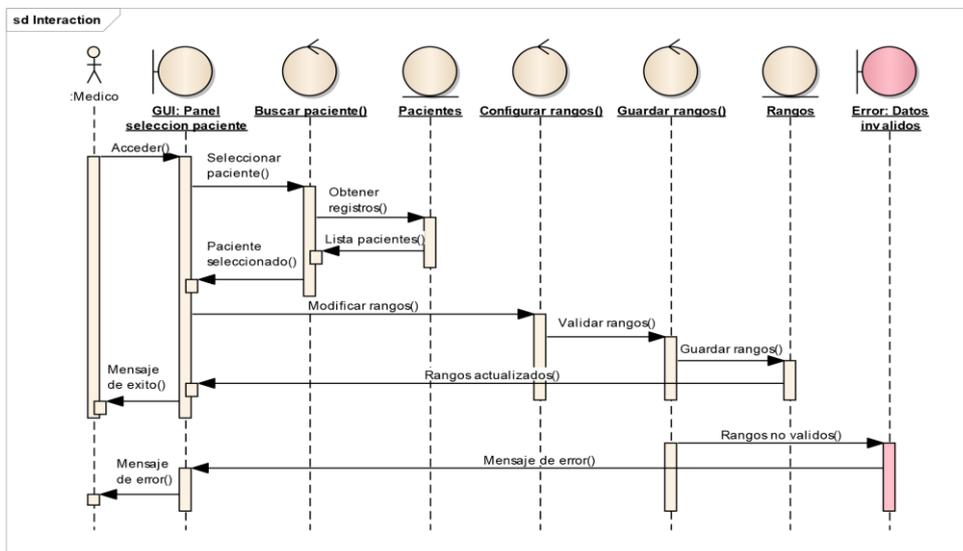
Se han desarrollado diagramas de robustez y de secuencia como parte del proceso de la metodología ICONIX para denotar las actividades esperadas de un caso de uso. A continuación se muestran algunos de los diagramas de secuencia obtenidos a partir de casos de uso descritos en la sección anterior.

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.

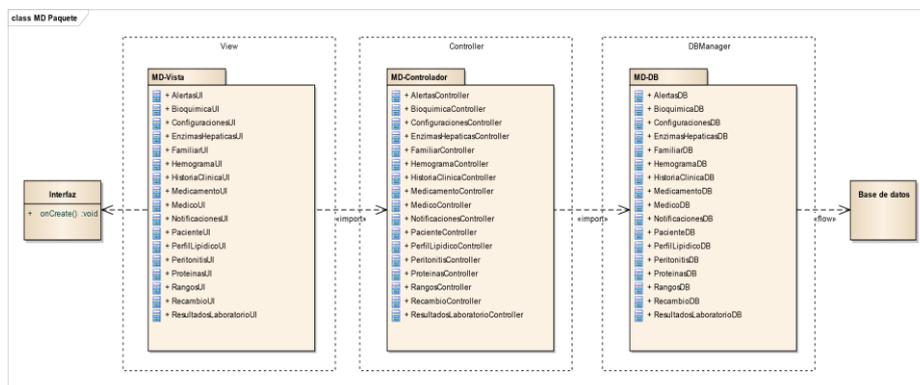


Fig. 3. Diagrama de clases aplicación nativa.

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.

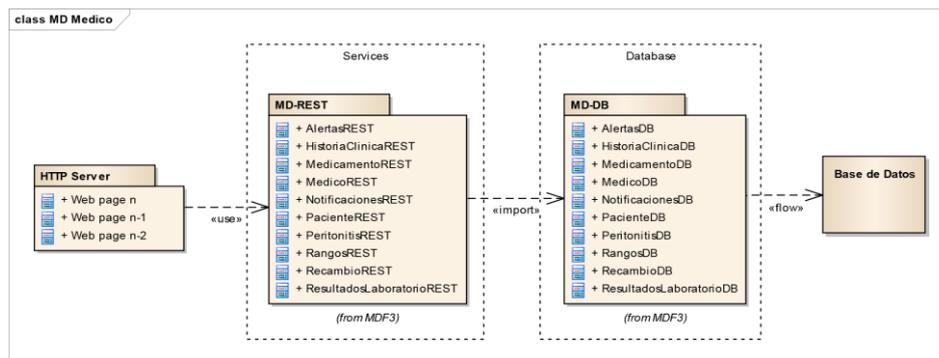


Fig. 4. Diagrama de clases aplicación web móvil.

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.

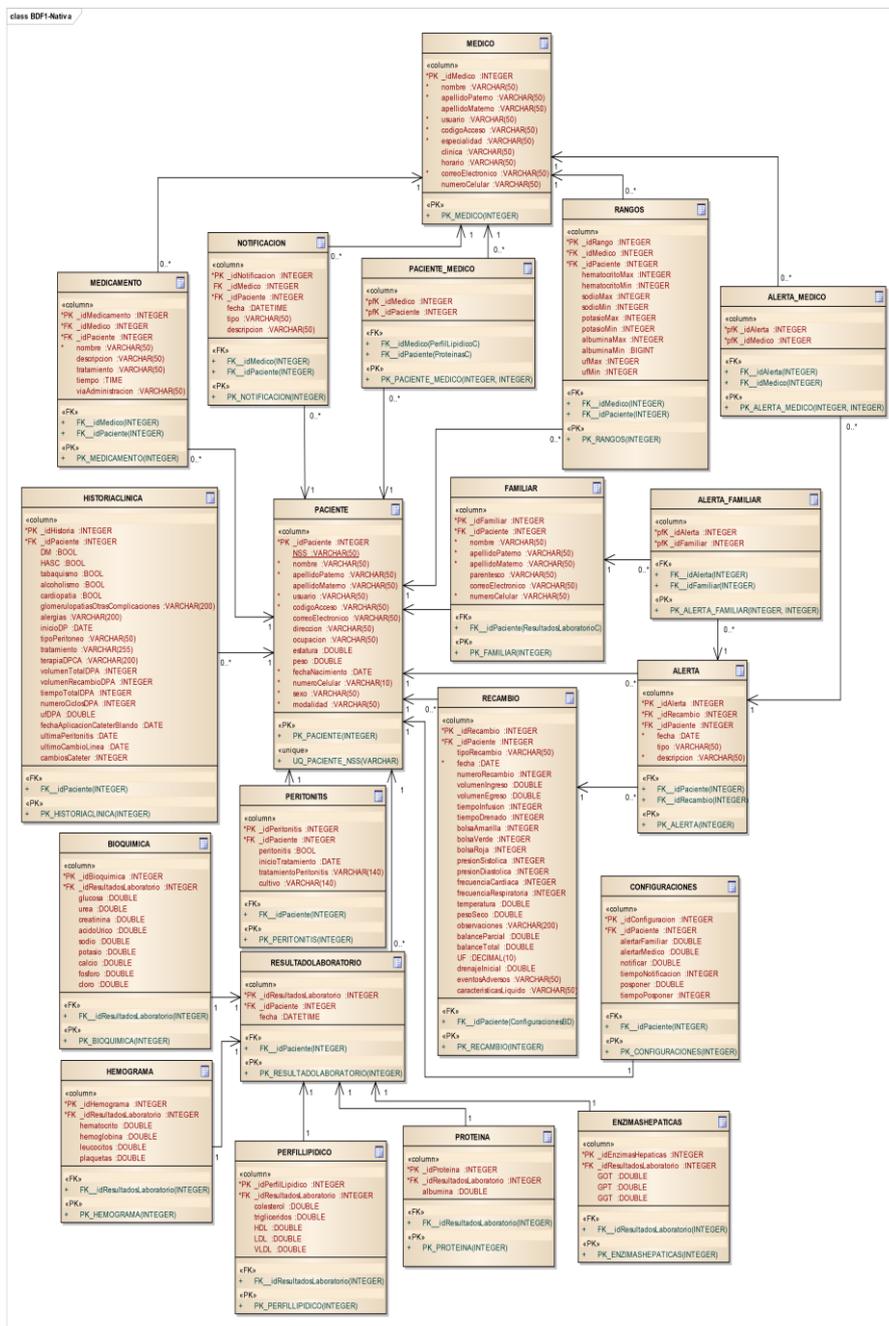


Fig. 5. Modelo de persistencia lógica.

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)

Diseño de un sistema de realidad aumentada para la prevención de obesidad en niños

Oseas Neftali Gómez Soto¹, Mabel Vazquez Briseño¹,
Mónica Elizabeth Tentori Espinosa²

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería,
México

² Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Departamento de
Ciencias de la Computación, México

{neftali, mabel.vazquez}@uabc.edu.mx, mtentori@cicese.mx

Resumen. México tiene una prevalencia significativa en sobrepeso y obesidad infantil, uno de los factores que influye es el consumo desbalanceado de alimentos. Muchos de los alimentos procesados actualmente incluyen etiquetas mostrando su información nutrimental, el problema radica en que los niños antes de consumir los alimentos no leen estas etiquetas, no las entienden y no analizan si deben consumir ese alimento. Como una solución a este problema, en este trabajo se presenta el diseño de un sistema interactivo que permita mostrar información nutrimental a niños de manera clara utilizando Realidad Aumentada (RA). El diseño se realizó a través de entrevistas y sesiones de diseño participativo, logrando implementar un prototipo de baja fidelidad para una aplicación móvil orientada a la prevención de obesidad. Además se realizó una evaluación de *frameworks* de RA con el fin de conocer cuál es el apropiado para el desarrollo del sistema.

Palabras clave: Realidad aumentada, dispositivos móviles, *rapid contextual design*, sistema interactivo, obesidad infantil, *framework*.

1. Introducción

La obesidad infantil es un problema mundial que afecta significativamente a México. De acuerdo con datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, por sus siglas en inglés) [1] México ocupa el primer lugar mundial en obesidad infantil y segundo lugar en obesidad en adultos. Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) [2] México tiene una prevalencia de sobrepeso y obesidad en niños de 5-11 años de edad en 2012 de 36.9 % (17.4 en obesidad y 19.5 en sobrepeso).

Una de las causas de obesidad de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) [3] es el aumento de la ingesta de alimentos hipercalóricos con abundantes grasas y azúcares, pero con escasas vitaminas, minerales y otros micronutrientes saludables. El consumo excesivo de alimentos hipercalóricos en ocasiones se debe al desconocimiento o poco entendimiento de los nutrimentos que contiene cada alimento.

Considerando esta problemática y las herramientas tecnológicas disponibles, es conveniente apoyar a la prevención de la obesidad infantil con el desarrollo de nuevas herramientas que colaboren para tener una mejor alimentación. Una de las maneras es por medio de un sistema de salud móvil (*m-Health*) orientado a niños que de manera atractiva y amigable les permita interactuar con su *Smartphone* o *Tablet*, brindándoles así información acerca de los alimentos utilizando RA. Desde la perspectiva de Billinghamurst [4] la RA permite que incluso los niños muy pequeños puedan tener una experiencia educativa rica por medio de ésta.

Para desarrollar proyectos de RA, existen algunos componentes fundamentales, como son: cámaras, marcadores, pantallas, información virtual y software especializado en RA (ver Fig. 1).

A partir del avance tecnológico que presentan hoy en día los dispositivos de comunicación móvil, como son los *Smartphones*, y considerando los requerimientos antes mencionados, la RA se puede desarrollar utilizando un dispositivo de este tipo, ya que cuenta con estas capacidades y con las herramientas para desarrollarla.

Por otra parte al desarrollar un sistema es de importancia que este tenga buena usabilidad y experiencia de usuario [6]. Considerando este factor, así como el problema social y las ventajas de la RA, se diseñó un sistema interactivo que utiliza RA, enfocado en fomentar una correcta alimentación de los niños de seis a ocho años.

El presente trabajo muestra un diseño interactivo como resultado obtenido por medio de *Rapid Contextual Design* bajo la filosofía de diseño centrado en el usuario. Por otra parte muestra algunas pruebas que se hicieron a *frameworks* de RA dando como conclusión una opción apropiada para el futuro desarrollo del sistema.

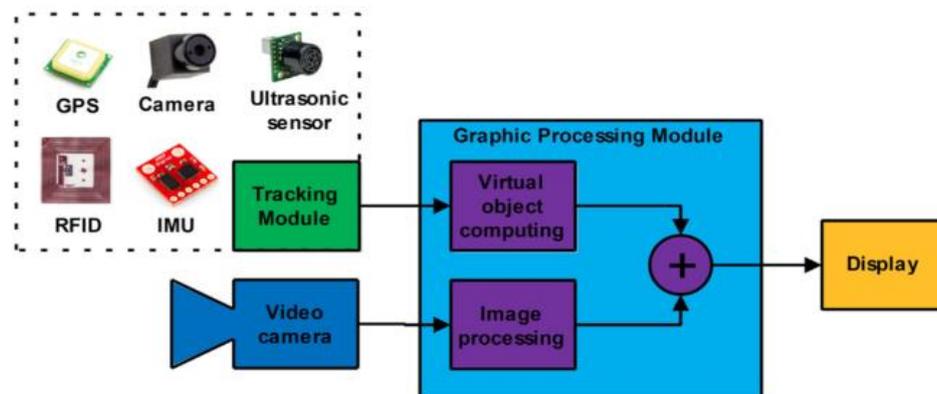


Fig. 1. Arquitectura de RA [5].

2. Trabajo Relacionado

De acuerdo con Santos [7], la tecnología se puede utilizar para cumplir con diferentes funciones en el área de educación, una de éstas es enriquecer e incrementar la eficiencia de la presentación de contenidos, ya que la tecnología tiene *affordances* que cambian la experiencia de aprendizaje.

Desde la perspectiva de Bayu et al [8], la visualización de información con RA es un método muy eficaz para la expansión del proceso de información visual, sobre todo en el área relacionada con la salud y el uso de dispositivos móviles. Una de las aplicaciones que se han desarrollado en dicha área es *Vitals Signs Camera*, desarrollada por Philips [9], ésta mide el ritmo cardíaco y respiratorio por medio del iPad o iPhone. Por otra parte Bayu et al [8] desarrollaron una aplicación en la plataforma Android que proporciona información nutrimental utilizando un dispositivo móvil, que mediante el uso de la cámara identifica alimentos y les añade información nutrimental.

Considerando las ventajas que ofrece la RA a través de los dispositivos móviles es pertinente pensar que sería de utilidad desarrollar un sistema que además de tomar ventaja de esos atributos se le aplique un diseño interactivo y dirigido a niños.

3. Diseño del sistema

Desde la perspectiva de Billinghamurst [4], la RA permite que incluso los niños muy pequeños puedan tener una experiencia educativa rica, sin embargo antes de empezar a desarrollar una aplicación es importante conocer y entender las necesidades de los usuarios, sus prácticas actuales y prácticas ideales.

En este trabajo, para entender el contexto de los usuarios involucrados se hicieron entrevistas y sesiones de diseño. Se identificaron cuatro tipos de personas que están relacionados con la problemática y por ende con el diseño del sistema, estas son niños, padres, pediatra experto en nutrición y profesor de educación básica, con quienes se realizaron tres sesiones de diseño y cuatro entrevistas (una entrevista por cada tipo de persona). Las entrevistas realizadas constaron de preguntas relacionadas con hábitos alimenticios, conocimientos sobre alimentación, educación alimenticia, motivación a una buena alimentación y sugerencias.

Con base en las entrevistas realizadas, se elaboró un diagrama de afinidad. Este diagrama contiene ideas, temas, escenarios de uso, etc, obtenidos de las entrevistas realizadas.

Siguiendo *Rapid Contextual Design* se realizaron tres sesiones de diseño participativo. En la primera sesión de diseño participativo se realizó *visioning*, esta sesión fue materializada a través de *sketches*, se realizó una lluvia de ideas, las cuales se dibujaron hasta obtener los *sketches* (ver Fig. 2). En la segunda sesión se hizo *storyboarding*, primeramente se dieron a conocer las fortalezas y debilidades de cada *sketch*, posteriormente se eligió el *sketch* en el que se trabajaría en la siguiente sesión (se eligió “*evidenciando el valor nutrimental*”), de éste se definió como sería la interacción general entre el usuario y el sistema. En la tercera sesión se utilizó el *sketch* obtenido en la sesión anterior y sobre éste se hizo el prototipo, en esta sesión además se detalló cómo sería la interacción del usuario con el sistema, se definieron las pantallas del sistema y su diseño. Como resultado se obtuvo un prototipo de baja fidelidad.

A partir del proceso anterior y del análisis de datos, se definió el escenario de uso y los componentes necesarios en cuanto a software y hardware. El escenario bajo el cual se utilizaría estaría dado cuando el usuario (niño) tiene la intención de consumir un alimento y desea saber que tan saludable es dicho alimento. Así el usuario podrá, con el dispositivo móvil, conocer el contenido nutrimental de dicho alimento, dándole a

conocer de manera entendible el valor nutrimental. Este sistema tratará de hacerle ver al usuario qué tan saludable es ese alimento, con la intención de que reflexione si lo consume o no. De esta forma, el sistema le dará puntos por registrar los alimentos obtenidos, independientemente si son saludables o no (mayor puntos por alimentos saludables). Ya que el objetivo es que registre los alimentos que consume, este registro lo podrá ver el padre en su dispositivo móvil con el fin de que conozca los alimentos consumidos por el niño para recompensarlo o alentarlos a una alimentación adecuada. Para dar a conocer el valor nutrimental al niño se utilizará RA, usando la cámara del dispositivo móvil. Al enfocar con la cámara a un alimento, esta información nutrimental se mostrará. En la Fig. 3 se muestra la estructura e interacción de los componentes del sistema a grandes rasgos.

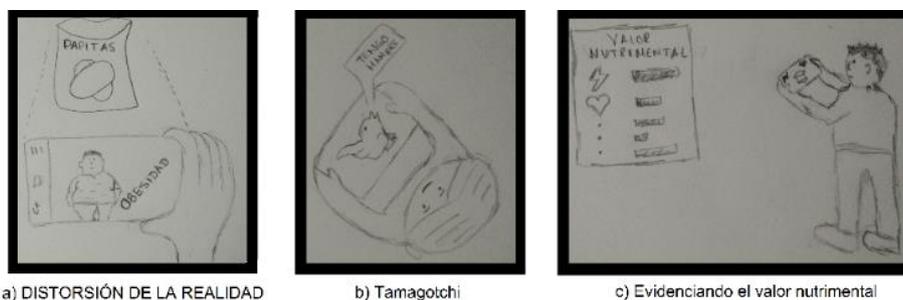


Fig. 2. Sketches.

Como se puede observar en la Fig. 2, la primera opción tiene como finalidad representar el daño en la salud que pueda ocasionar el consumo excesivo de ese alimento. El objetivo de la segunda opción es realizar un tamagotchi que cambiará su aspecto físico dependiendo de los alimentos que consuma. La tercera opción tiene como fin mostrar de manera entendible para el niño la información nutrimental de alimentos conocidos como "chatarra".

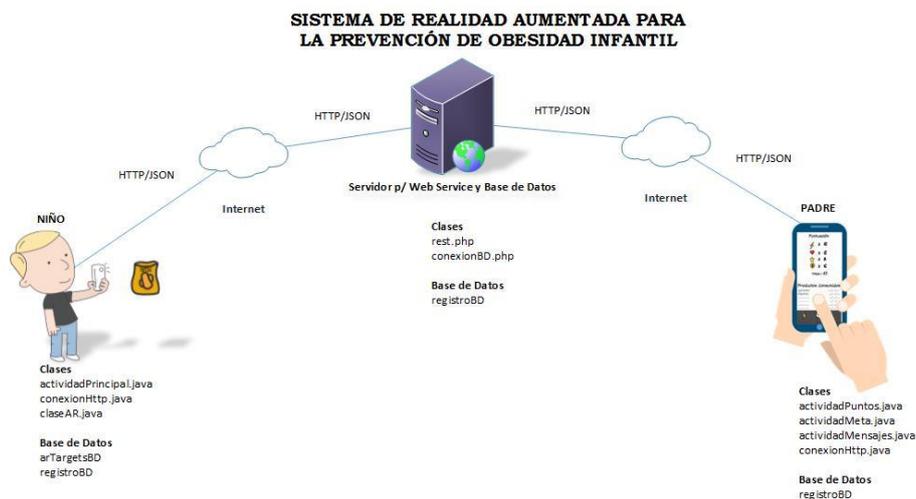


Fig. 3. Estructura del sistema.

4. Evaluación de *frameworks* de RA

Existen diferentes *frameworks* de RA para Android en dispositivos móviles. Se seleccionaron algunos para ser probados y ver cuál sería adecuado para utilizarse. Para ello primeramente se definieron criterios de inclusión de *frameworks* con el fin de evaluar aquellos que puedan y estén al alcance en el futuro desarrollo del sistema, estos criterios están dados de la siguiente forma:

- Acceso total al *framework* (Incluyendo aquellos con marca de agua).
- Acceso gratuito sin límite de tiempo (Incluyendo aquellos con marca de agua).
- No descontinuado.
- Desarrollo posible en *AndroidStudio* o Eclipse.

Siguiendo los criterios anteriores los *frameworks* probados fueron Vuforia, Wikitude y ARToolKit.

Para desarrollar la aplicación de prueba de estos *framework* se utilizó una computadora con Windows 7, el SDK de cada *framework* y Eclipse Luna¹. Para realizar la prueba de la aplicación se usó un *SmartPhone* Samsung Galaxy s3 sch-i535. En el caso de Vuforia y Wikitude se utilizaron como targets (imágenes a detectar) dos bolsas de golosinas que comúnmente consumen los niños, por otra parte con ARToolKit por su funcionamiento se utilizaron marcadores.

Al utilizar Vuforia se observó el siguiente comportamiento (ver Fig. 4):

- Se detectaron los productos rápidamente.
- Al cambiar la posición y forma (moverla y/o doblarla) de la bolsa la seguía detectando.
- Tarda un poco al cargar la aplicación, pero una vez abierta funciona muy bien.
- Distinción de productos, mostrando para productos diferentes un objeto virtual distinto.

El siguiente *framework* que se probó fue Wikitude², el funcionamiento observado fue el siguiente (ver Fig. 4):

- Se detectaron los productos rápidamente.
- Es una librería ligera, el tiempo en abrir la cámara es corto.
- Al cambiar la posición y forma del producto (moverla y/o doblarla) normalmente perdía el enfoque y la detección del producto, posteriormente lo vuelve a detectar, oscila este comportamiento.

Posteriormente se evaluó NyARToolkit³, el cual se basa en marcadores, para las pruebas se utilizaron dos marcadores distintos (ver Fig. 5).

La detección de los marcadores se hizo correctamente, para cada marcador se generó un objeto distinto, estos solo difieren en su color (ver Fig. 5).

¹ <https://www.eclipse.org/luna/>

² <http://www.wikitude.com/>

³ <http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/>



Fig. 4. Identificación de diferentes productos, las primeras dos imágenes son de Vuforia seguido por las de Wikitude.

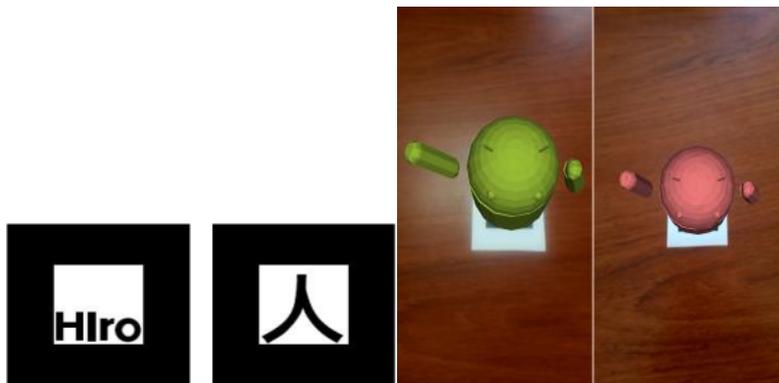


Fig. 5. Identificación de diferentes productos con NyARToolkit.

5. Resultados

Como primer resultado se obtuvo el diseño de un sistema interactivo siguiendo *Rapid Contextual Design*. Este diseño se obtuvo a partir de *visioning* en el cual se generaron sketches que posteriormente se utilizaron en el *storyboarding*, en este último se obtuvo un *storyboard* que se utilizó para diseñar un prototipo. Se trabajó en este prototipo y posteriormente se diseñaron las interfaces gráficas, una para uso del niño y otra para el uso del padre. Este prototipo resultante se pasó a diseño el cual contiene más a detalle la interfaz gráfica de las pantallas. El diseño de la aplicación para niños consta de dos funciones principales, mostrar información nutrimental virtual al identificar un alimento y ver puntaje (Equivalencia entre puntos y valor nutrimental) (ver Fig. 6). Por otra parte, la aplicación para padres consta de tres funciones principales: ver puntos obtenidos por el niño, ver/editar meta (en puntos) y editar mensajes (mensajes alentadores que serán mostrados en la aplicación del niño) (ver Fig. 7).

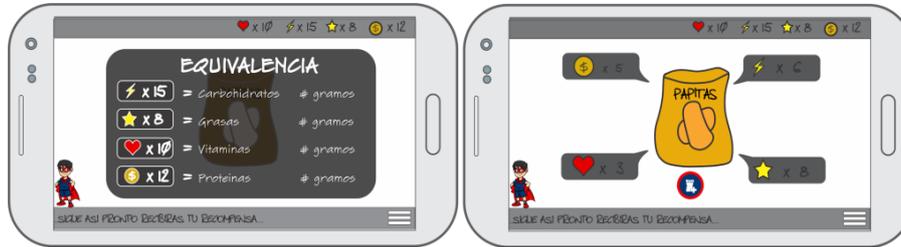


Fig. 6. Pantallas principales de aplicación para el niño⁴.

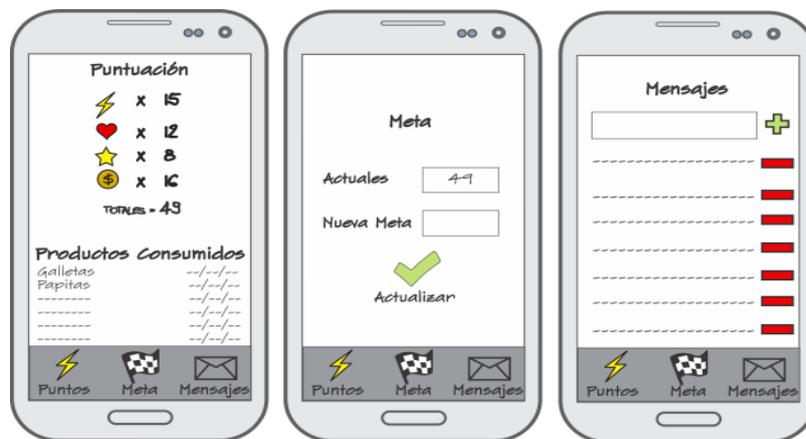


Fig. 7. Pantallas para aplicación del padre (pantalla puntuación, pantalla meta y pantalla mensaje).

Como segundo resultado se obtuvo la evaluación de *framework* de RA para determinar el adecuado para desarrollar el sistema. Una vez probado cada *framework*, a partir de una perspectiva propia se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 1. Tomando en cuenta los resultados obtenidos se ve como opción conveniente utilizar Vuforia.

Tabla 1. Resultados de la evaluación de frameworks. La escala utilizada es del uno al cinco donde uno significa “muy malo”, dos “malo”, tres “regular”, cuatro “bueno” y cinco “excelente”.

	Vuforia	Wikitude	NyArToolKit
Rapidez de detección	5	4	5
Sencillez de desarrollo	3	4	3
Detección al variar la forma del objeto.	5	4	3
Velocidad de carga	4	5	5
Documentación	4	4	3
Tipo de Licencia	Starter*	Trial*	Código Libre

⁴ Avatar modificado del avatar original disponible en <http://galeria.dibujos.net/> con fecha de acceso 14 de abril del 2015.

* Acceso total al *framework* sin límite de tiempo usando marca de agua.

6. Discusión

En este trabajo se propone una solución tecnológica como auxiliar para prevenir la obesidad infantil en México. La propuesta consiste en un sistema de salud móvil basado en RA para mostrar información nutrimental y orientar a niños en el consumo de alimentos. Se describió el diseño del sistema, el cual se realizó utilizando *Rapid Contextual Design*. Este diseño permite considerar las perspectivas de los diferentes involucrados que incluye, además de los niños usuarios, a los padres o tutores, profesores de educación básica y médicos especialistas en el área. Como resultado se obtuvo el diseño de un sistema enfocado a niños, considerando principios de diseño ya establecidos y lineamientos encontrados en el análisis de los datos. Por otra parte también se realizó la evaluación de *frameworks* comerciales existentes para la implementación de sistemas de RA. La evaluación se realizó en consideración a requerimientos propios para el diseño propuesto. Con el fin de extender los resultados de la evaluación a futuras implementaciones, es conveniente seguir realizando pruebas y explorar otras características o funcionalidades de estos mismos *frameworks*, así como detectar limitaciones en cuanto a los requerimientos de los sistemas de este tipo.

Referencias

1. UNICEF México, Salud y Nutrición, <http://www.unicef.org/mexico/spanish/17047.htm>
2. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Resultados Nacionales 2012, <http://ensanut.insp.mx/informes/ENSANUT2012ResultadosNacionales.pdf>
3. OMS, Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud, http://www.who.int/dietphysicalactivity/childhood_why/es/
4. Billingham, M.: Augmented reality in education. *New Horizons for Learning*, 12 (2002)
5. Daponte, P., De Vito, L., Picariello, F., Riccio, M.: State of the art and future developments of the Augmented Reality for measurement applications. *Measurement*, 57, pp. 53–70 (2014)
6. Rogers, Y., Sharp, H., Preece, J.: *Interaction design: beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons (2011)
7. Santos, M.E.C., Chen, A., Taketomi, T., Yamamoto, G., Miyazaki, J., Kato, H.: Augmented reality learning experiences: Survey of prototype design and evaluation. *Learning Technologies, IEEE Transactions on*, Vol. 7, No. 1, pp. 38–56 (2014)
8. Bayu, M.Z., Arshad, H., Ali, N.M.: Nutritional Information Visualization Using Mobile Augmented Reality Technology. *Procedia Technology*, 11, pp. 396–402 (2013)
9. Philips, Vital Signs Camera, <http://www.vitalsignscamera.com/how-it-works.html>

Desarrollo de un almacén de datos para el desempeño académico de estudiantes en cursos b-learning

Sergio Franco Casillas, Sara Catalina Hernández Gallardo

Universidad de Guadalajara, Jalisco,
México

scasillas@cualtos.udg.mx, shernand@cencar.udg.mx

Resumen. El propósito de este artículo es presentar un almacén de datos que permita guardar los elementos provenientes del resultado del desempeño académico de los estudiantes en cursos *b-learning*, con el uso de la plataforma de cursos en línea *Moodle*. La aplicación informática, *Moovisys*, se implementa como interfaz de usuario para la preparación y extracción de los datos. *Moovisys*, aún en desarrollo, se conecta a la base de datos de *Moodle* para conocer el uso de la plataforma, a su vez, se identifican los cursos *b-learning*, y se extrae de ellos los datos correspondientes al desempeño académico en las actividades de aprendizaje, para luego colocarlos en el almacén. El análisis de datos se realizó con *Tableau* para conocer el desempeño académico de los estudiantes en ingeniería en computación. En los resultados se muestra el desempeño académico de los estudiantes, el tiempo anticipado del envío de tareas y el que usaron para realizar un examen.

Palabras clave: Almacén de datos, cursos b-learning, actividades de aprendizaje, minería de datos.

1. Introducción

En la actualidad las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) desempeñan un papel importante en el ritmo de vida de los seres humanos, entre los que destacan el uso masivo del internet y dispositivos móviles, estos generan una gran cantidad de datos que se almacenan en diversas partes del mundo [1]. Las instituciones educativas utilizan los sistemas gestores de aprendizaje (LMS, por sus siglas en inglés) como medios de interacción; estas plataformas permiten almacenar en su base de datos cada una de las acciones que los profesores y estudiantes realizan entre las actividades de aprendizaje (AA) y el sistema. Los LMS se utilizan como medio de apoyo para la educación *e-learning* (en línea) como para la *b-learning* (semi-presencial) [3]. En un ambiente *b-learning* una parte de los recursos de aprendizaje y la interactividad entre estudiantes de un aula de clases se llevan a una plataforma LMS para que participen los diversos actores [4]. En esta investigación se estudian los cursos *b-learning* porque el centro universitario participante en el estudio (CUP) utiliza la plataforma Moodle como complemento a la actividad presencial de los profesores, sin embargo puede ser adaptada a cursos *e-learning*.

Existen disciplinas que se preocupan por el análisis de datos, tal es el caso de la minería de datos, siendo esta un área que se fortalece de la estadística, las tecnologías de bases de datos, máquina de aprendizaje (machine learning), reconocimiento de patrones, recuperación de información, visualización, algoritmos computacionales, cómputo de alto rendimiento y desarrollo de aplicaciones [5]. Con el almacenamiento de datos provenientes de la educación y el uso de técnicas de análisis se desarrolla un área de investigación en la educación (EDM, por sus siglas en inglés), la cual se preocupa por el desarrollo de métodos de exploración que permite generar conocimiento a partir de los datos provenientes de la educación [2].

La minería de datos (MD) tiene como meta buscar patrones que son previamente desconocidos, válidos, novedosos que se analizan en grandes volúmenes de datos [6, 7, 8]. La MD está implícita en el proceso de extracción de conocimiento en bases de datos (KDD, siglas en inglés) en ocasiones se trata como sinónimo [6]. El KDD es un proceso de varias etapas bien establecidas, que de acuerdo con [6, 9] se utilizan en: 1) Educación, 2) Industria y 3) Modelos híbridos. Estos modelos varían en los diferentes pasos a seguir para llegar al conocimiento. En los modelos propuestos figuran esencialmente seis pasos 1) Entendimiento del problema 2) Entendimiento de los datos; 3) Preparación de los datos; 4) Minería de datos; 5) Evaluación del descubrimiento de conocimiento; 6) Utilización del conocimiento descubierto [6], [7], [10, 11, 12].

La MD cuenta con técnicas y algoritmos para la descripción y predicción del fenómeno que se estudia [7], en esta investigación se utiliza la técnica de visualización que permite mostrar y describir de manera gráfica los datos crudos provenientes del desempeño académico de los estudiantes en un ambiente en línea.

El desempeño académico (DA) es una variable importante de abordar en la educación ya que se asocia a otros problemas como la reprobación, deserción o fracaso escolar y que preocupa a los gobiernos como a las instancias académicas [13]. El DA es por excelencia un indicador que mide la calidad de la educación y que a su vez se expresa por el conjunto de calificaciones que se obtienen de las evaluaciones y de las AA donde el profesor designa una calificación [14, 15]. Para la elaboración de esta investigación utiliza como DA el conjunto de calificaciones que el estudiante obtiene en un curso *b-learning* en Moodle. Existen trabajos relacionados como el elaborado por [16] que es una aplicación de visualización y monitoreo de estudiantes, GISMO (*Graphical Interactive Student Monitoring Tool for Moodle* - <http://gismo.sourceforge.net>), que se agrega internamente a Moodle y se trata como un bloque dentro de él; el administrador de la plataforma agrega a GISMO y solo puede observar los datos de cada curso de manera separada, en cambio Moovisys es independiente de Moodle y puede ayudar a la toma de decisiones de los responsables académicos o administradores de la plataforma para mejorar las practicas docentes y de evaluación dentro de este ambiente.

De acuerdo con [2, 6] la extracción y preparación de los datos es una tarea complicada ya que consume la mayor parte en el proceso de KDD y porque se integran datos de diversas fuentes, y sin ella no se podrá avanzar a la siguiente fase: minería de datos; lo anterior comparándolo con el pre-procesamiento manual que permite Moodle en su interfaz en la extracción de calificaciones de cada curso. En este artículo se presenta Moovisys (*Moodle Visualization System*) que es una aplicación informática, en desarrollo, que facilita la conexión con la base de datos de Moodle de manera externa. Moovisys posibilita, a través de su interfaz, la recolección de datos

provenientes del DA de los estudiantes de cursos *b-learning*, transformarlos y almacenarlos en una nueva base de datos relacional (almacén de datos). Con un almacén de datos se podrá dar seguimiento sobre el DA de los estudiantes tanto en un semestre como a lo largo de su carrera. Para el análisis de datos se utilizó *Tableau* (<http://www.tableau.com>) que permite la conexión al almacén y utiliza la técnica de visualización para mostrar de manera gráfica los datos. Al final del artículo se contestan las siguientes preguntas de investigación, primer paso del KDD: a) ¿Qué actividades de aprendizaje utilizan los profesores?; b) ¿Qué actividades de aprendizaje tienen un mejor desempeño académico los estudiantes?; c) ¿Cuánto tiempo le lleva al estudiante realizar un examen?; d) ¿Con qué anticipación envía una tarea los estudiantes?

2. Materiales y Métodos

El centro universitario participante (CUP), de la Universidad de Guadalajara, proporcionó una copia de la base de datos de Moodle (versión 1.9+) en un archivo .sql con 2.4 Gb de información, con un total de 201 tablas, y utiliza MySQL como sistema gestor. El periodo de la base de datos es de septiembre de 2007 a junio de 2013. La base de datos se colocó en un servidor con tecnología Apache, PHP y MySQL que permitieron conectar y desarrollar a Moovisys con la base de datos de Moodle. El tratamiento de los datos se realizó con la categoría correspondiente a la carrera de ingeniería en computación del CUP.

2.1. Selección de los datos

Para extraer la información de los participante en los cursos de Moodle, se analizaron cada una de las 201 tablas y se seleccionaron aquellas que tenían datos de interés sobre los cursos, el DA de los estudiantes y la participación (Tabla 1).

Tabla 1. Nombre de las tablas y la información de interés.

Nombre de tabla	Información de interés relacionada a:
<i>mdl_user</i>	Los participantes
<i>mdl_course</i>	Los cursos
<i>mdl_course_category</i>	Categorías o carreras a la que pertenece el curso
<i>mdl_role</i>	Rol de cada participante
<i>mdl_role_assignment</i>	Rol del participante en el curso
<i>mdl_context</i>	Contexto del curso y los participantes
<i>mdl_assignment</i>	Cada tarea que se proporciona en el curso
<i>mdl_assignment_submission</i>	Participación en cada tarea
<i>mdl_quiz</i>	Cada examen que se proporciona en el curso
<i>mdl_quiz_attempt</i>	Participación en cada examen

Para la extracción en particular de cada una de las AA y su respectiva participación, se utilizó una combinación de las tablas (Tabla 1) para crear el almacén de datos, por ejemplo, para los exámenes se utilizaron las tablas *mdl_quiz* y *mdl_quiz_attempt*.

Para que un curso sea catalogado como *b-learning* se consideran las siguientes reglas: 1) Tener más de un participante (el profesor cuenta como participante y se asigna cuando se crea el curso); 2) tener al menos un recurso de aprendizaje (como lecturas, páginas web, etc.); 3) tener más de un foro de discusión (Moodle coloca uno por default); 4) tener más de una AA (tanto en tareas como en exámenes).

2.2. Desarrollo del almacén de datos (AD)

Una vez que se conoce en qué tablas de la base de datos de Moodle se almacena la información de interés, se procede a realizar un esquema de bases de datos relacional para el AD. Con él se evita redundancia de datos en: categorías, cursos, actividades y tipos de actividad, además de, participación en las AA que se almacenan en la tabla de hechos (*eparticipacion*), como se muestra en la Fig. 1.

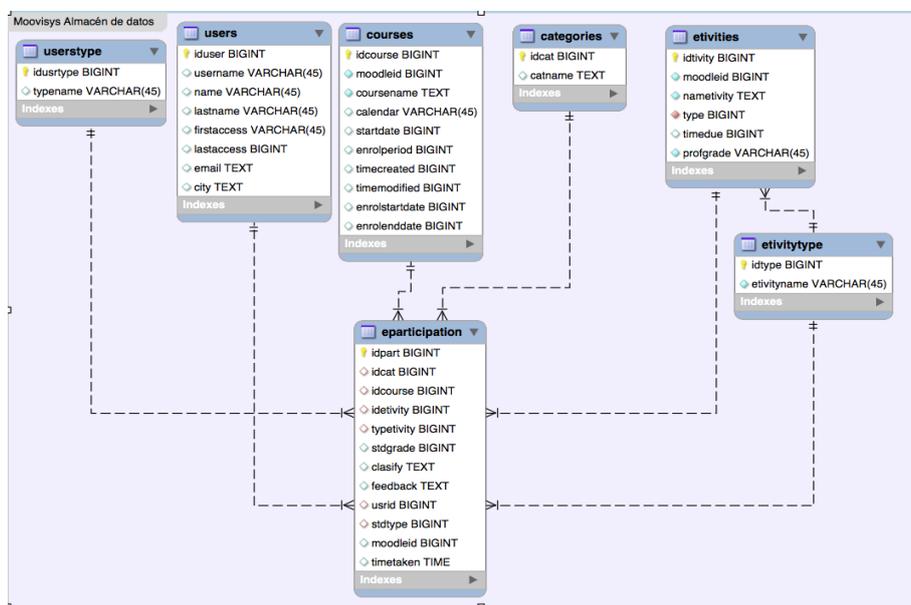


Fig. 1. Almacén de datos de Moovisys.

El AD tiene una configuración de copo de nieve (*snowflake*, en inglés) de acuerdo con [5]. En la tabla 2 se muestra los datos de interés que guarda cada tabla del almacén.

Tabla 2. Tablas utilizadas de Moovisys y los datos que almacenan.

Nombre de tabla	Información de interés relacionada con:
<i>users</i>	Los participantes
<i>userstype</i>	Sí son estudiantes o profesores
<i>Courses</i>	Los cursos
<i>Categories</i>	Categorías o carreras dentro de Moodle
<i>etivities</i>	Actividades de aprendizaje en línea

Nombre de tabla	Información de interés relacionada con:
<i>ativitytype</i>	Los tipos de actividad (tareas, exámenes, etc).
<i>epartitipation</i>	La tabla de hechos o de participación de los estudiantes.

Una vez que se diseñó el modelo del AD para Moovisys con MySQL Workbench (<http://dev.mysql.com/downloads/workbench>) se procedió a sincronizarlo con el sistema gestor, es decir MySQL.

2.3. Transformación de los datos

Los datos correspondientes a las calificaciones de cada actividad de aprendizaje se transformaron porque el profesor designa para cada una de ellas una puntuación diferente, por lo tanto no pueden tratarse como iguales. Para esta investigación los datos se almacenaron en la tabla de hechos de una forma normalizada y entendible, estos se convirtieron a escala de 100, donde se utilizó la siguiente fórmula 1:

$$C_R = \frac{C_O \cdot 100}{C_D} \quad (1)$$

Donde C_R = calificación resultante; C_O = calificación obtenida por el estudiante; C_D = calificación designada a la actividad de aprendizaje. C_R se almacena en las calificaciones de la tabla de hecho.

2.4. Diagrama de flujo para almacenar los datos

Moovisys añade la programación como se observa en el diagrama de flujo correspondiente a la Fig. 2, en él se integran los pasos para desarrollar el algoritmo que permite consultar, extraer y guardar en el AD lo correspondiente a las categorías, cursos, actividades, tipo de actividad, usuarios, tipo de usuario y la participación en cada actividad.

3. Resultados

Para el tratamiento de los datos, del CUP, se utilizó Moovisys y conectó Tableau al AD para obtener los resultados expresados a continuación:

- 3.1 Tipos de actividades: Moovisys, como parte de la visualización de datos, proporciona un módulo donde se observan las actividades utilizadas en cada curso. En la Fig. 3 se muestran 17 cursos (eje Y), y la cantidad de los tipos de actividad en el eje X. Las AA utilizadas con mayor frecuencia son tareas y exámenes.
- 3.2 Cursos *b-learning*: de los 17 cursos que se muestran en la Fig. 3 (eje Y), solo uno de ellos cumplía con las reglas del apartado 2.1, Fig. 4.
- 3.3 Calificaciones: la Fig. 5 muestra las calificaciones obtenidas con el tratamiento de los datos en *Tableau*. En ella se aprecia que los exámenes tienen bajo DA comparados con las tareas, además de tener mayor participación ya que en las

tareas, el profesor restringe el tiempo de entrega; las calificaciones se muestran en rectángulos color azul, entre más intenso, mejor DA.

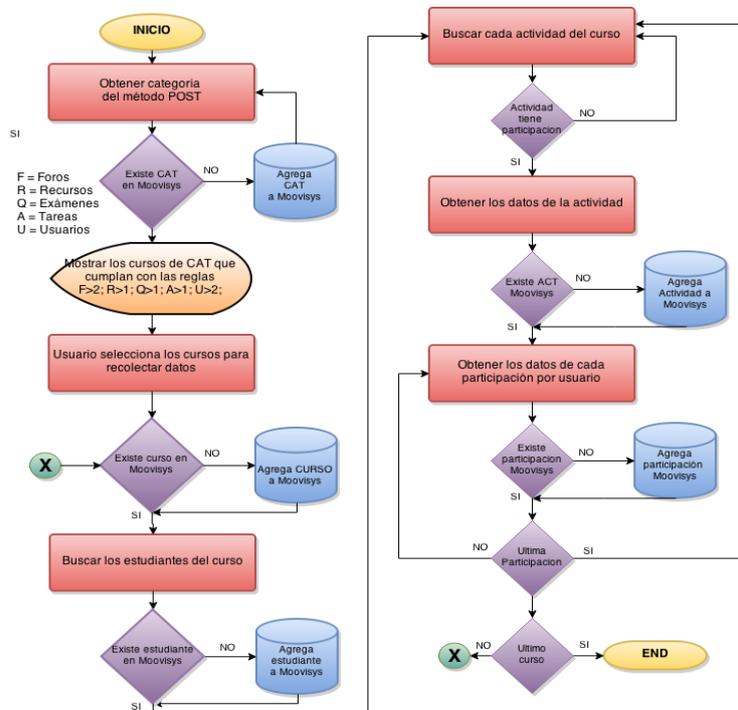


Fig. 2. Diagrama de flujo para extracción de datos.

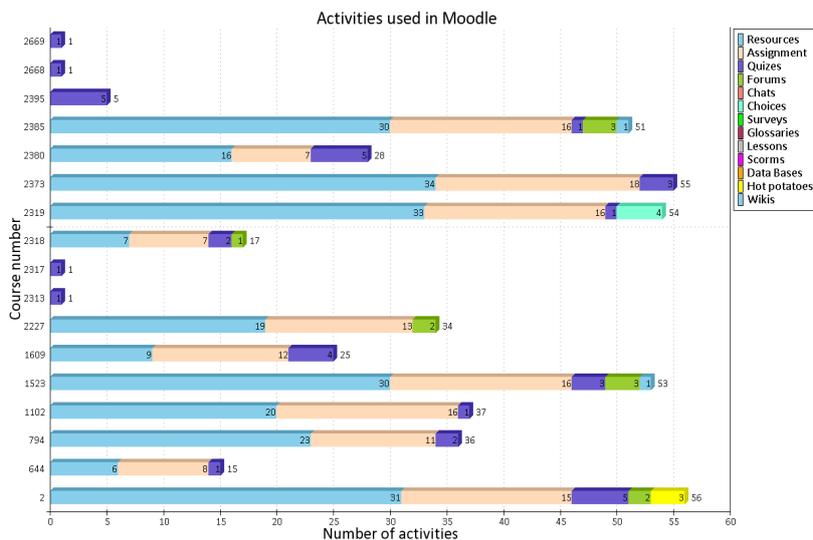


Fig. 3. Tipos de actividad utilizadas en los cursos. Tomada de Moovisys.

Show B-Learning Courses

Course id	Short course name	Create year	Last modification	Number of Sections	Number resources used	Assignments	Quiz	Forum	Chat	Choice	Survey	Glossary	Lessons	Scorm	Data bases	Hot potato	Wikis	Users	Data collected
2	Lenguajes	2007	2013	7	31	15	5	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	36	
Total courses found			1	There is not course data to be gathered															

Fig. 4. Cursos b-learning. Tomada de Moovisys.

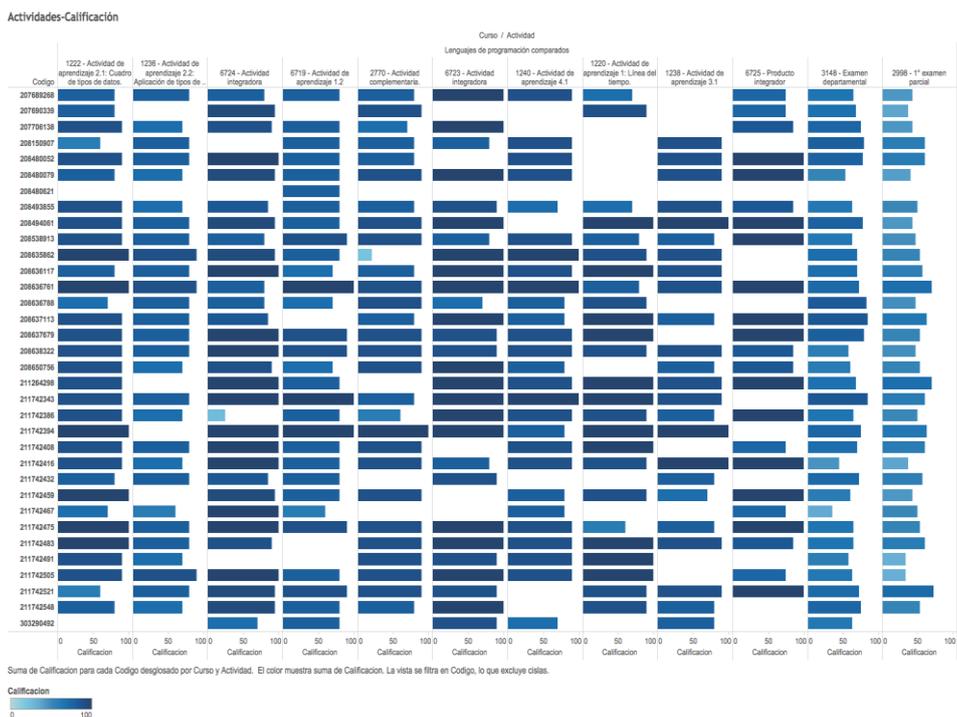


Fig. 5. Calificaciones por actividad.

3.4 Tiempo para elaborar un examen: el tiempo que designa un profesor para elaborar un examen son 40 minutos, en la Fig. 6 se muestra que los estudiantes utilizan un rango entre 8 y 29 minutos del tiempo, y no por ello tienen un mejor DA. El color rojo indica un bajo DA y el azul un mejor DA.

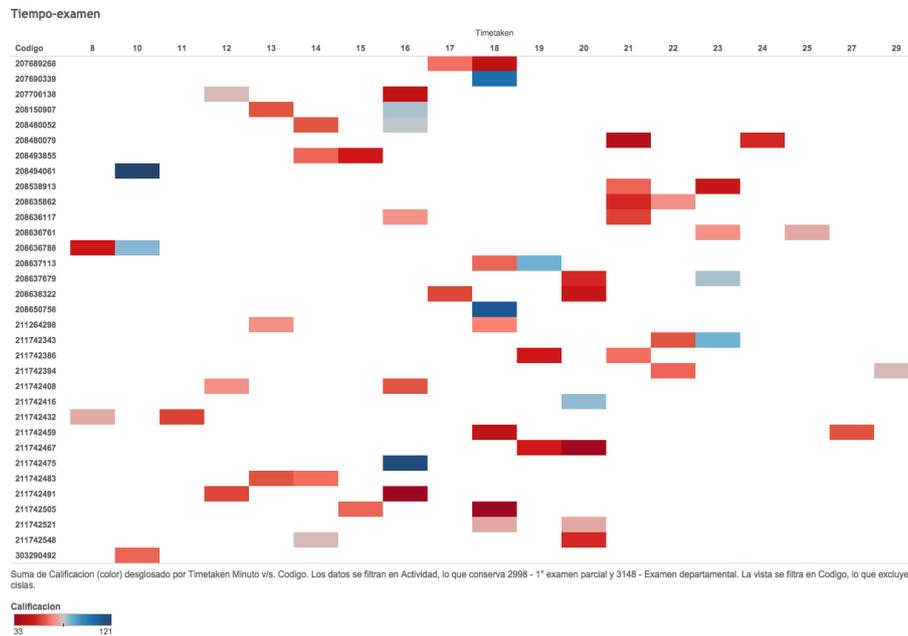


Fig. 6. Tiempo en minutos para elaborar un examen.

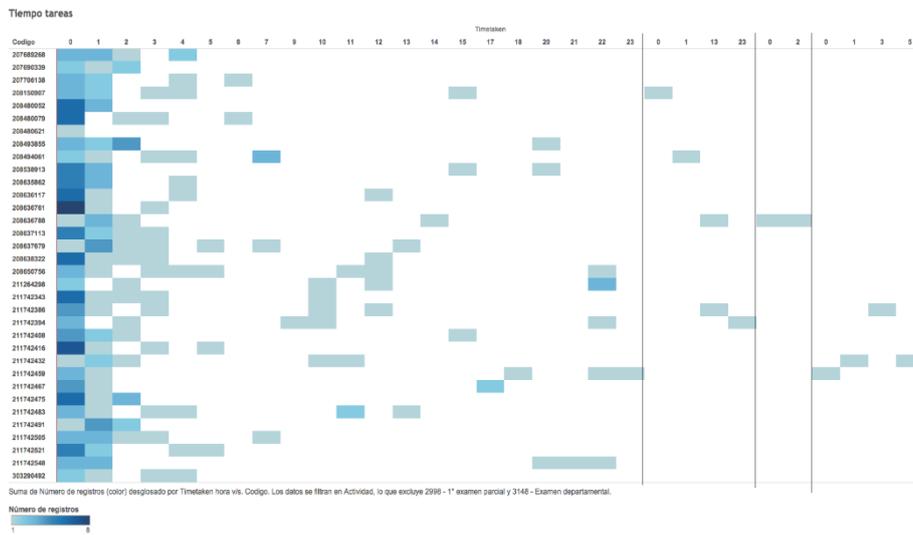


Fig. 7. Tiempo de anticipación para enviar una tarea.

3.5 Tiempo para el envío de tareas: la Fig. 7 muestra el tiempo anticipado con el que un estudiante envía una tarea o AA. En ella se comprueba que los estudiantes envían sus AA en las últimas horas (4) y es por ello que en algunos casos no existe participación, porque se les termina el tiempo para el envío de la misma (Fig. 5, rectángulos en blanco).

4. Discusión

Con respecto a la clasificación de los cursos *b-learning*, de los 17 mostrados en la Fig. 3 y de acuerdo a las reglas designadas en el apartado 2.1, Moovisys solo catalogó a uno de ellos en esta categoría, porque Moodle, de acuerdo a la administración del CUP, registra a los estudiantes por un periodo de tiempo y al término, éstos son dados de baja automáticamente del curso, por lo tanto ya no cumplen con el límite de participantes.

El curso catalogado como *b-learning* corresponde al calendario 2013A (de febrero a junio de 2013). En Moodle cada vez que se utiliza el mismo curso para otro semestre, la participación de los estudiantes queda registrada en otras tablas de la base de datos, y no en las que se utilizaron para esta investigación.

Las AA en las que los estudiantes tienen un mejor DA, pero existe menos participación son las tareas (Fig. 5), y se observa que en los exámenes, los estudiantes tienen un bajo DA y participan la mayoría.

El tiempo que un estudiante consume (un rango de 8 a 29 minutos) para elaborar un examen no siempre significa un mejor DA (Fig. 7). El tiempo de anticipación que un estudiante utiliza para el envío de su tarea, es al término del día de entrega, se observa una carga mayor (rectángulos de color azul) en las últimas cuatro horas, siendo la hora cero (0) en donde se concentran mayores envíos (rectángulos de azul intenso); con ello se infiere que el estudiante deja las tareas al final, y los tiempos designados, podrían no alcanzar para enviarla, por lo cual existe menos participación en algunas de ellas.

El tiempo de pre-procesamiento de los datos dentro de *Moovisys* es menor, comparado con el que se utiliza manualmente. Moodle permite la descarga manual en el apartado de calificaciones; sin embargo esos datos aún deben procesarse y transformarse por cada curso que se desee. *Moovisys* realiza el pre-procesado de los datos de diversos cursos; en este artículo solo se utilizó uno, ya que las reglas y la base de datos de Moodle restringieron la obtención de una cantidad mayor de datos, sin embargo, no se limita a utilizar solo uno.

Las AA dentro de Moodle son variadas, sin embargo el profesor de este curso solo utiliza exámenes y tareas, por lo tanto se sugiere utilizar otras AA para motivar a los estudiantes. En las prácticas docentes, se propone concientizar a los estudiantes para que cumplan con sus AA en el tiempo debido. El tiempo que se utiliza en los exámenes es adecuado, sin embargo pueden existir diversos problemas por lo que el estudiante tiene un bajo DA en esta actividad.

5. Trabajo futuro

Moovisys integrará módulos para la recolección de datos históricos de Moodle y a su vez de visualización, para que las autoridades académicas tomen decisiones para mejorar el DA de los cursos *b-learning* en un corto periodo de tiempo. Las decisiones estarán a cargo de la autoridad académica cuando la aplicación Moovisys muestre los gráficos de DA, sin embargo, para los resultados que se presentan en este artículo, una decisión podrá ser que el profesor debe poner atención en sus prácticas de evaluación (exámenes) porque es donde los estudiantes muestran un bajo DA.

Referencias

1. Aguilera, A., Riascos, S.: Direccionamiento estratégico apoyado en las TIC. *Estudios Gerenciales*, Vol. 25, No. 111, pp. 127–143 (2009)
2. Romero, C., Ventura, S.: Data mining in education. *Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 3, No. 1, pp. 12–27 (2013)
3. Callagher, M.: How can Student Interactivity be Enhanced through the use of a Blended Learning Approach (2008)
4. Ortiz, L.: Campus Virtual: la educación más allá del LMS. *Revista de la Universidad y Sociedad del Conocimiento*, Vol. 4, No. 1, pp. 1–7 (2007)
5. Han, J., Kamber, M., Pei, J.: *Data Mining Concepts and Techniques*. 3rd ed. Morgan Kaufmann, Waltham, MA, USA (2011)
6. Cios, K., Pedrycz, W., Swiniarski, R., Kurgan, L.: *Data mining: a knowledge discovery approach*. Springer (2007)
7. Maimon, O., Rokach, L. (eds): *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. 2nd ed. Springer US (2010)
8. Witten, I., Frank, E., Hall, M.: *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 3 ed. Morgan Kaufmann, Burlington, MA, USA (2011)
9. Zaïane, O.: Introduction to Data Mining. *Proceedings, CMPUT690 Principles of Knowledge Discovery in Databases*, University of Alberta, pp. 1–15 (1999)
10. Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P.: From Data Mining to Knowledge Discovery in Database. *AI Magazine*, Vol. 17, No. 3, pp. 37–54 (1996)
11. Pal, N., Jain, L. (Eds.): *Advanced techniques in knowledge discovery and data mining*. Springer-Verlag, London (2005)
12. Bousbia, N., Belamri, I.: Which Contribution Does EDM Provide to Computer-Based Learning Environments? In: Peña-Ayala, A. (Ed.) *Educational Data Mining: Applications and Trends*, Vol. 524, Springer International Publishing (2014)
13. Tejedor, F., García-Varcárcel, A.: Causas del bajo rendimiento del estudiante universitario (en opinión de los profesores y alumnos): propuestas de mejora en el marco del EEES. *Revista de educación*, No. 343, pp. 443–473 (2007)
14. Martínez, R., Heredia Y.: Tecnología educativa en el salón de clase. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, pp. 371–390 (2010)
15. Edel, R.: El rendimiento académico: concepto, investigación y desarrollo. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, Vol. 1, No. 2 (2003)
16. Mazza, R., Milani, C.: GISMO: a Graphical Interactive Student Monitoring Tool for Course Management Systems. *International Conference on Technology Enhanced Learning*, pp. 1–8, Milan, Italy (2004)

Modelo de interoperabilidad de la historia clínica electrónica utilizando HL7-CDA basado en computación en la nube

Víctor R. Velázquez M., Mabel Vázquez Briseño, Juan Iván Nieto H.,
Juan de Dios Sánchez L.

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Diseño,
Baja California, México

{vvmejia, mabel.vazquez, jnieto, jddios}@uabc.edu.mx

Resumen. La implementación exitosa de la Historia Clínica Electrónica (HCE) ayuda a mejorar la calidad de la atención de los pacientes, actualmente existe el problema de interoperabilidad entre las instituciones de salud, debido al uso variado de metodologías y tecnologías para su desarrollo. La Arquitectura de Documento Clínico (CDA) desarrollado por HL7 es un estándar de documentos para garantizar la interoperabilidad, la propagación de este formato de documento es fundamental para la interoperabilidad. El modelo presentado propone el desarrollo de sistemas orientados a la gestión de conocimiento clínico basándose en la generación de documentos CDA y su integración a través de la computación en la nube. Los desarrolladores que manejan diferentes plataformas podrán utilizar este modelo para mejorar la interoperabilidad. Los resultados obtenidos fueron la implementación de un modelo de uso general para desarrollo de HCE usando sintaxis basadas en XML para representar el conocimiento clínico mediante plantillas CDA.

Palabras clave: Interoperabilidad, historia clínica electrónica, HL7, CDA, computación en la nube.

1. Introducción

Actualmente en México las instituciones de salud utilizan sistemas de información clínica que no son compatibles entre sí, la información que se almacena en estos sistemas debería ser única y estar disponible en todo lugar al momento de prestar la atención médica a un paciente. Es transcendental que exista la forma de compartir la información clínica de un paciente para otorgarle una atención médica con calidad, es por ello que es importante buscar procesos y mecanismos técnicos que permitan desarrollar HCE con las características deseables mencionadas anteriormente, las cuales garanticen el cumplimiento de estándares clínicos, la capacidad de ser accesibles en cualquier momento y desde cualquier lugar, aun con el uso de diferentes tecnología para su desarrollo.

La Historia Clínica Electrónica (HCE) es “La recolección longitudinal de información electrónica de salud de una persona, donde la información de salud se

define como la información relativa a la salud de un individuo o de atención sanitaria prestada a un individuo y puede apoyar los procesos eficientes para la prestación de asistencia sanitaria” [1]. Si se quiere garantizar el uso eficiente de la HCE, es indispensable que existan sistemas que logren el intercambio de información clínica, actualmente la mayoría de los sistemas son incompatibles. La interoperabilidad de las HCE se podría lograr si los sistemas de salud se desarrollan apegados a estándares de salud [2].

La interoperabilidad desde el punto de vista de la salud médica es “La habilidad de los sistemas para trabajar juntos, en general gracias a la adopción de estándares. La interoperabilidad no es solamente la habilidad de intercambiar información sanitaria, sino que requiere la habilidad de entender lo que se está intercambiando” [3].

Mejorando la interoperabilidad se tendrán mayores beneficios, tanto para los pacientes, como para los profesionales de la salud, ya que los registros médicos del paciente serían unificados. Con el uso de la Arquitectura de Documento Clínico como núcleo de los sistemas de salud se acercaría más a la interoperabilidad, esto se puede ver a través de diversos trabajos basados en CDA que de acuerdo con se han desarrollado con éxito en diferentes países [3].

La Arquitectura de Documento Clínico (CDA) de Health Level 7 (HL7), “es un estándar basado en XML para el marcaje de documentos que especifica la estructura y semántica de documentos clínicos para el propósito de facilitar su intercambio en un entorno de interoperabilidad” [4]. La estructura de la CDA es compleja y producir un documento correcto es difícil si no se conoce a fondo su estructura, además, las plataformas de las HCE entre las instituciones de salud varían tanto que cada institución de salud requeriría de su propio sistema generador de CDA. Las instituciones tienen sus propias bases de datos para almacenar su información, una de las características de la interoperabilidad es compartir la información entre instituciones, por esta razón, es importante almacenar los documentos utilizando sistemas que sean accesibles por las diferentes instituciones, una de ellas puede ser la utilizada por la computación en la nube.

La computación en la nube “es un sistema informático basado en Internet y centros de datos remotos para gestionar servicios de información y aplicaciones”. La computación en nube permite a los consumidores y las empresas gestionar archivos y utilizar aplicaciones sin necesidad de instalarlas en cualquier computadora, requiriendo únicamente acceso a Internet. Esta tecnología ofrece un uso mucho más eficiente de recursos, como almacenamiento, memoria, procesamiento y ancho de banda, al proveer solamente los recursos necesarios en cada momento [5].

Actualmente existe un gran interés por promover la HCE utilizando CDA. El Servicio Nacional de Salud del Reino Unido inició un sistema de la HCE a nivel nacional, el proyecto hace uso del estándar HL7/CDA y SNOMED-CT [6]. En Canadá, la *Canadian Health Infoway* apoya el proyecto para la creación de un *framework* llamado *Electronic Health Record System* [7], el cual provee una estructura para el registro de salud electrónico, consiste de un conjunto de servicios comunes y reutilizables basados en SOA y HL7, lo que le permite tener estandarizadas las interfaces, las bases de datos, el vocabulario, entre otros elementos. En Latinoamérica también se han realizado trabajos en el área de interoperabilidad, tal es el caso del Libro Blanco de Interoperabilidad de gobierno electrónico para América latina V3.0 [8], en

la cual se presenta la conceptualización de una arquitectura y una plataforma de interoperabilidad para América Latina y el caribe.

Con lo anteriormente expuesto, se puede visualizar que en algunos países ya se cuenta con plataformas de salud que utilizan estándares, permitiendo así la interoperabilidad entre las instituciones de salud y sus diferentes actores, algunos otros países tienen proyectos en desarrollo con grandes avances. Sin embargo, en México, a pesar de algunos desarrollos tecnológicos concretos, no existe un avance significativo en la definición formal de un modelo para la interoperabilidad de la HCE [9].

En este trabajo se presenta un modelo para generar e integrar documentos CDA en diferentes plataformas de desarrollo, los cuales pueden ser almacenados en diferentes hospitales además de la nube. El modelo incluye una herramienta que hace uso de documentos clínicos basados en el estándar HL7/CDA para el intercambio electrónico de información clínica y CDA para la sintaxis de las plantillas de los documentos clínicos los cuales están basado en XML. Este trabajo también ha tomado en cuenta la norma NOM-024-SSA3-2010 propuestas por la Secretaría de Salud [10]. Se propone por una parte la definición de aspectos para la implementación de la HCE, es decir, los expertos del dominio clínico definen el modelos de la información que será ingresada al sistema en forma de plantilla CDA y que posteriormente serán transformados a formatos web para ser llenados por los profesionales de la salud. Por otra parte, se propone una herramienta con los elementos mínimos requeridos para la administración de catálogos y módulos propuesta por la Secretaría de Salud, para esto se ha tomado en cuenta la Guía para el Desarrollo de Documentos CDA [11], la Guía de implementación HL7 para los datos de identificación de los pacientes [12].

Los beneficios de adoptar este modelo es que es un modelo de uso libre y los desarrolladores podrán utilizar la plataforma de desarrollo preferida. Por otra parte, Los hospitales que ya cuente con HCE podrán hacer uso del mismo con pocas modificaciones a sus sistemas, dado que es un modelo de uso libre, los hospitales podrán adoptarla.

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera: tras esta introducción, se abordan los materiales y la metodología utilizados. A continuación se explica el modelo de interoperabilidad propuesto, posteriormente de presentan los resultados, para finalmente realizar una discusión y establecer las conclusiones.

2. Materiales y métodos

En esta sección, se presenta el modelo propuesto, se explican los componentes y técnicas necesarias para su implementación, se expone la generación e integración de las plantillas CDA basadas en la computación en la nube.

Se eligió el modelo de información CDA de HL7 Versión 2 para la representación de los documentos clínico debido a que es un modelo estándar, además de su gran simplicidad para su implementación en software, también fue considerada su sencillez tanto en su estructura de datos en memoria como en su estructura de base de datos. Es importante mencionar que la elección del modelo de la información clínica puede realizarse con base a las necesidades de la HCE que se esté implementando. Un documento CDA está dividido en dos partes, la Cabecera (HEAD) y el cuerpo (BODY). La cabecera tiene una estructura claramente definida, incluye información del paciente,

hospital, médico, etc. El cuerpo es más flexible, contiene el reporte clínico, y está conceptualmente dividido en secciones anidadas, cada una de ellas contiene un bloque narrativo para ser presentado junto a entradas estructuradas y referencias externas [13]. Dentro de los documentos CDA existen categorías en función de su finalidad, para el modelo se utilizó el documento de atención CCD, ya que contiene el resumen de la información de la salud del paciente además de ser ampliamente utilizado para la interoperabilidad. Para el documento CDA se usó la información propuesta por la Dirección General de Información de Salud para la elaboración de la HCE.

La utilización de estos estándares por otras instituciones es importante, ya que es precisamente es lo que le da soporte y sustento a las herramientas de la propuesta, ya que las herramientas aquí presentadas apoyan a la creación de nuevas plantillas basadas en los actos clínicos que los expertos en el dominio clínico requieren para sus consultas médicas.

2.1. Modelo de interoperabilidad propuesto

La Fig. 1 muestra la arquitectura general del modelo de interoperabilidad para las HCE. El modelo está fundamentado en la gestión del conocimiento clínico, formado por roles con tareas bien definidas, artefactos en forma de insumo y la de generar y compartir documentos CDA compartidos entre hospitales, el intercambio de los documentos CDA se realiza a través de computación en la nube.

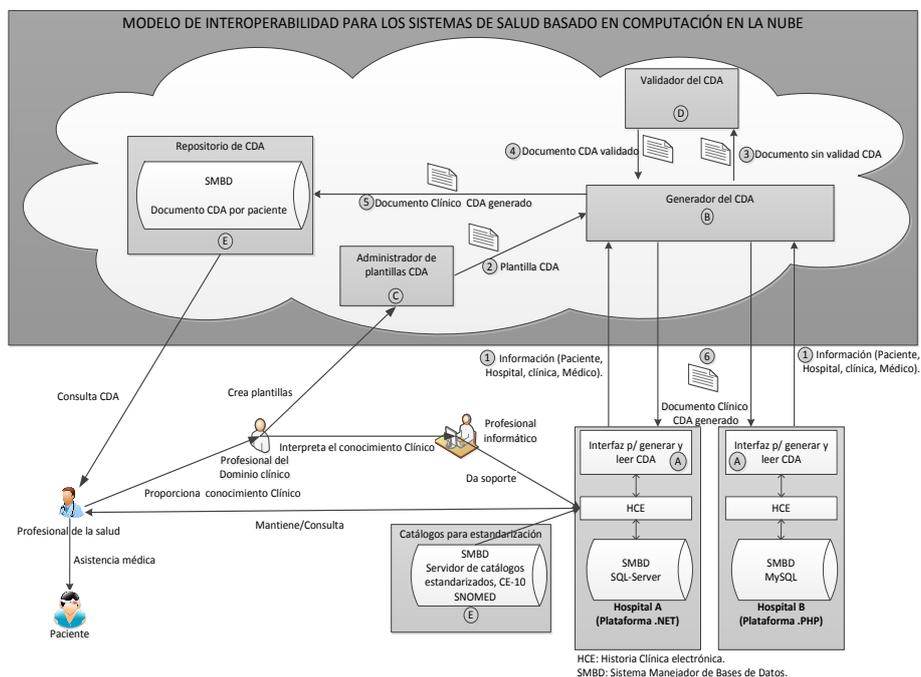


Fig. 1. Arquitectura para el modelo de interoperabilidad de la HCE.

Los roles involucrados en el modelo son tres: El primero es el profesional de la salud quien tiene una participación activa en este modelo, este profesional es el experto en el conocimiento médico y es el usuario final del sistema. El segundo es el profesional del dominio clínico, quien debe poseer tanto conocimiento médico como conocimiento de las herramientas y normas que serán aplicadas a la HCE, este rol sirve como medio de comunicación entre los otros dos roles con el fin de evitar malas interpretaciones del conocimiento médico y las normas de salud, una de sus tareas es generar las plantillas CDA requeridas. Finalmente, el profesional informático quien no tiene experiencia en el conocimiento médico, pero si en las herramientas de modelado del conocimiento y en las herramientas para el desarrollo de software, su tarea es transformar a modelos informáticos lo que el profesional del dominio le transmite y dar soporte a los sistemas de las HCE.

En la Fig. 1 se muestra como los hospitales A y B cuentan con HCE desarrolladas en diferentes plataformas (.NET y PHP) y almacenan la información en distintos SMBD (Sql-Server y MySQL). Por lo cual se muestra que al utilizar este modelo es factible generar y compartir documentos CDA independientemente de la plataforma en que se haya desarrollado los sistemas que administran las HCE. Para lograr la interoperabilidad, en cada hospital será necesario contar con la interfaz para generar y leer documentos CDA, el proceso general para generar y leer documentos CDA es el siguiente:

- A. **Interfaz CDA:** Sirve para para generar los documentos CDA enviando los datos del Paciente, el profesional de salud, el hospital, etc. al generador del documento CDA que se encuentra en la nube, además de recuperar los datos elaborados por generador documentos CDA.
- B. **Generador CDA:** Utiliza los datos recibidos para crear el documento CDA acorde al formato de la plantilla deseada, la plantilla CCD es recuperada del administrador de plantillas y se encarga de llenar los campos correspondientes a la plantilla CCD con los datos que se encuentra organizado en dos secciones principales, la cabecera y el cuerpo del documento CDA de acuerdo a [13].
- C. **Administrador de plantilla:** Contiene las plantillas necesarias de la HCE, estas plantillas son creadas por el profesional del dominio clínico según los requerimientos de una HCE, para esto se usan documentos CCD [13].
- D. **Validador CDA:** Recibe el documento CDA generado, lo analiza para determinar si cumple con las normas especificadas por el esquema del CDA, una vez validado se regresa al generador de CDA, que a su vez lo envía al hospital receptor a través de la interfaz CDA. Adicionalmente, el documento es enviado al repositorio de documentos CDA para su organización y almacenamiento. Si no se valida, se devuelve un error y no se almacena el documento.
- E. **Repositorio CDA:** Recibe el documento CDA validado, lo almacena y ordena de manera cronológica para cada paciente. Estos documentos podrán ser recuperados por los profesionales de la salud para consulta.
- F. **Servidor de catálogos:** Proporciona información estandarizada para crear las HCE, esta información se refiere a los contenidos en SNOMED [14], LOINC [15], bases de datos geográficos, etc.

3. Resultados

En esta sección, se presentan los resultados correspondientes a la implementación del modelo para la interoperabilidad de la HCE utilizando documentos clínicos HL7-CDA basado en computación en la nube.

3.1. Entorno para generar plantillas CDA en la nube

Para la plataforma de la nube se utilizó un servidor instalado en la Facultad de Ingeniería Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California, el cual cuenta con el sistema operativo Windows 8.0 de Microsoft, como servidor de base de datos se utilizó MS-SQLServer 2010, para la generación, integración y distribución de los documentos CDA se utilizó la plataforma de desarrollo de Microsoft Visual Studio 2010, específicamente el lenguaje C# y el *framework* de .NET 4.0, la plataforma de servicios web utilizado fue la de *Internet Information Server* (IIS) de Windows 8.0.

3.2. Generación de plantillas CDA

En el modelo no se determina que información será ingresada al sistema por los profesionales de la salud, sino que los profesionales del dominio clínico definen que conceptos clínicos desean manejar y que información será necesaria para cada tipo de acto clínico.

Para la prueba del concepto se crearon las plantillas CDA para el acto clínico de primer visita médica, para ello se tomó como información de entrada los datos del paciente establecidos en la norma oficial mexicana NOM-024-SSA3-2010, correspondiente al expediente clínico electrónico, esta información se analizó y se cruzó con la información clínica del estándar HL7-CDA V2, el profesional del dominio clínico creó y grabó estas plantillas en el administrador de plantillas CDA.

3.3. Generación e integración de documentos CDA para la HCE del paciente

Se crearon dos sistemas para la atención médica básica del paciente. En el primer caso se utilizó una plataforma compuesta por MS Visual Studio 2010 con lenguaje C#, manejador de bases de datos SqlServer2010 y el servidor web IIS. En el segundo caso se utilizó WampServer 2.4, con el lenguaje de programación PHP 5.4.12, MySQL 5.6.12 como administrado de bases de datos y Apache 2.4.4 como servidor web.

En ambos sistemas, los profesionales informáticos crearon interfaces para generar los formularios web basadas en las plantillas CDA almacenadas en la nube, las cuales serán llenadas por los profesionales de la salud en un acto médico determinado. Posteriormente, los documentos clínicos se depositan en un repositorio documental para que puedan ser recuperados por algún profesional de la salud con el fin de dar atención médica a un paciente, o bien, para ser compartidos con otra instancia médica.

Con el fin de garantizar la integridad de los documentos CDA utilizó la herramienta de validación de documentos CDA de Estados Unidos (NIST- <http://cda-validation.nist.gov/cda-validation>), así mismo, con el fin de dar trazabilidad en la autoría de los documentos CDA se utilizó XML, ya que este permite la inclusión de la firma electrónica del profesional de salud que generó el documento.

4. Discusión y conclusiones

El modelo propuesto ayuda a mejorar la interoperabilidad, los formatos de los documentos CDA son diseñados por los profesionales del dominio clínico, utilizando estándares clínicos HL7/CDA cruzados con los elementos mínimos recomendables por la Secretaría de Salud a través de la norma oficial mexicana NOM-024-SSA3-2010. Lo cual garantiza la interoperabilidad entre los sistemas de salud que adopten este modelo.

La propuesta tiene varias ventajas sobre otros proyectos existentes. Una de ellas es que las instituciones de salud que adopten el modelo no necesariamente tienen que adquirir un software propietario para generar e integrar documentos CDA almacenados en la nube, por lo que no tiene costos adicionales. La propuesta es de código abierto y puede ser utilizado independientemente de la plataforma de desarrollo que se utilice, ya que las plantillas están basadas en XML. El hecho de compartir información en la nube puede implicar un mejor control en la creación de plantillas CDA, estos es, si existe una plantilla que cumple con un acto clínico determinado, no hay necesidad de crear una nueva. Cuando se crean nuevas plantillas, no será necesario cambios en el software del lado del cliente; solo será necesario hacer las actualizaciones del lado del servidor, esto se realiza en la nube.

Como trabajo futuro se tienen que realizar pruebas exhaustivamente en la seguridad del servicio y su uso con accesos masivos de la herramienta en la nube. Las pruebas de seguridad realizadas están basadas en un módulo de accesos seguro al sistema, el cual está limitado a usuarios que tengan una cuenta con su clave de acceso y sus respectivas credenciales de uso, además de la seguridad en las bases de datos que ofrecen las propias herramientas en que fueron desarrollados.

Referencias

1. Carnicero, J., Fernández, A.: Manual de salud electrónica para directivos de servicios y sistemas de Salud. Santiago de Chile, Naciones Unidas (2012)
2. DGIS, Secretaría de Salud: Manual del Expediente Clínico Electrónico, México, (2011)
3. Institute of medicine, Patient Safety: Archiving a New Standard for Care. National Academy Press, Disponible en <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309090776>.
4. Subcomité técnico ADT-HL7 España: Guía para el desarrollo de documentos CDA. (2007)
5. Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A.D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., Zaharia, M.: A view of cloud computing. Communications of the ACM, Vol. 53, No. 4, pp.50–58 (2010)
6. Department of Health Informatics Directorate UK. NHS Connecting for Health (NHS CFH). Consultado en Noviembre 2013 en <http://www.connectingforhealth.nhs.uk>. (2004)
7. Canada Government. Canada Health Infoway, <https://www.infoway-inforoute.ca/index.php/resources> (2001)
8. Naciones Unidad-CEPAL: Libro blanco de interoperabilidad de gobierno electrónico para América Latina y el Caribe, Ver. 3.0 (2007)
9. Política Digital: Primer avance hacia el expediente clínico electrónico nacional, <http://www.politicadigital.com.mx/?P=leernoticia&Article=1175&c=34>. (2015)
10. Diario Oficial de la Federación: Norma Oficial Mexicana NOM-004-SSA3-2010, México http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5272787&fecha=15/10/2012. (2015)

Víctor Velázquez, Mabel Vázquez, Juan Nieto, Juan Sánchez

11. Subcomité Técnico ADT-HL7: Guía para el desarrollo de documentos CDA V1.0. España (2007)
12. Subcomité Técnico ADT-HL7: Guía de implementación HL/ Datos de Identificación del Paciente V.3 (2007)
13. HL7: CDA Release 2 http://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=7 (2014)
14. International Health Terminology Standards development organization: SNOMED-CT User Guide July 2013 International Release (US English). http://ihtsdo.org/fileadmin/user_upload/doc/download/doc_UserGuide_Current-en-US_INT_20130731.pdf. (2015)
15. McDonald, C., Stan, H, Jamalynne, D.: Logical Observation Identifiers Names and Codes Users' Guide LOINC. Recuperado en enero de 2014 de <https://loinc.org/downloads/files/LOINCManual.pdf>. (2014)

Apropiación de las TIC en la educación superior: una mirada desde la disciplina del profesorado

Ana Teresa Morales Rodríguez¹, Alberto Ramírez Martinell¹,
Cora Beatriz Excelente Toledo²

¹ Universidad Veracruzana, Instituto de Investigaciones en Educación, Xalapa, Veracruz,
México

² Laboratorio Nacional de Informática Avanzada, Xalapa, Veracruz,
México

ateremora@gmail.com, albramirez@uv.mx cora@lania.mx

Resumen. En este artículo se hacen evidentes las diferencias observadas en los niveles de habilidad para el manejo de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) y la frecuencia de uso que presentan los profesores universitarios de diversas disciplinas académicas. El interés particular de este estudio, radica en la relación que existe entre la naturaleza de las disciplinas (dureza o pureza) y el qué saben y qué tanto incorporan las TIC en sus actividades académicas los docentes de Educación Superior. Los resultados indican de manera general que los profesores cuentan con un nivel suficiente de saberes informáticos e informacionales, salvo algunas tonalidades marcadas por su disciplina. Asimismo se observa que existen diferencias en términos de frecuencia de uso de dispositivos y conectividad, de manejo de software para el apoyo de cada disciplina, y aprovechamiento de servicios que la institución educativa pone a su disposición.

Palabras clave: TIC, profesores en educación superior, saberes digitales, grado de apropiación tecnológica, disciplinas académicas.

1. Introducción

Es innegable que las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Educación Superior, inducen el cambio e impactan en el desarrollo económico y social de los países [1] y su incorporación es inminente lo cual se evidencia en la definición de políticas en las Instituciones de Educación Superior (IES).

En el caso de la Universidad Veracruzana (UV), esto se hace visible en los planes de desarrollo que los rectores han planteado desde finales de los años 90's [2], a partir de los cuales se han dictado las estrategias y líneas de acción para la incorporación de las TIC, entre las que podemos mencionar: la dotación de infraestructura de TIC (equipamiento, conectividad, y servicios tecnológicos) para cada una de sus entidades académicas [3] (las cuales se encuentran distribuidas en cinco regiones geográficas); la implementación de programas de formación en TIC para el profesorado; la puesta en marcha de proyectos como AULA, en el que se capacitaron a miles de profesores para

el uso de TIC tanto para el diseño de sus clases como para su ejecución; el establecimiento de un marco común de computación para todas las licenciaturas de la universidad; la ampliación de la oferta de servicios de TIC institucionales como iTunes-UV, la biblioteca virtual, el sistema de información distribuida creado al interior de la universidad "Eminus", entre otros. Dado este contexto, es importante reflexionar que la incorporación de las TIC, implica no solo la dotación de infraestructura, sino que es necesario contar con habilidades para usarlas, y si bien es cierto que la universidad se ocupa de facilitar las TIC a la comunidad académica, es preciso conocer qué tanto son aprovechadas con fines académicos.

Ahora bien, es de notarse que la incorporación de las TIC a la Universidad no ha sido homogénea, tal como lo demuestran estudios realizados en diversas instituciones de educación superior a nivel internacional (Georgina y Olson, 2008; Johnson et al., 2012; Meyer & Xu, 2009; Roberts et al., 2007) y nacional (Alarcón, López y Ortiz, 2013; Berra, 2012; Crovi, 2009; Sánchez y Prieto, 2012; Torres y Barona, 2012; Zubieta, Bautista, y Quijano, 2012), que desde diferentes enfoques y en distintas dimensiones han demostrado que existen brechas digitales en la incorporación de las TIC en la Educación Superior. Lo que hace asumir que al interior de la UV también existen brechas y en este estudio las observamos a partir del profesorado.

La brecha digital es un concepto no universalmente definido, que puede estudiarse desde múltiples dimensiones y observarse desde diferentes aristas. Es multifactorial y, para el caso de los profesores de las Instituciones de Educación Superior (IES), podemos señalar que la literatura ha estudiado este concepto a partir del efecto de factores como el grado académico, la edad, el género, la antigüedad, y la disciplina. Sin embargo, esta última no ha sido explorada a profundidad, aun cuando teóricamente se asume como elemento fragmentador de la profesión académica y del mismo sistema universitario [4]. Ya que, si la disciplina condiciona la conducta, prácticas, conjuntos de discursos, formas de pensar, procedimientos y motivaciones...”[5], tomamos como supuesto, que también condiciona -de alguna manera- las prácticas en el uso de las TIC; es decir, lo que necesitan utilizar (en términos de hardware y software); las formas de uso y su intención; su ideología o creencias acerca de la pertinencia -o no- del uso de las TIC en el contexto académico; y las motivaciones -o carencia de ellas- del uso de las TIC. Es por ello que esta investigación se ha planteado como objetivo, estudiar la relación existente entre la disciplina y el grado en que los profesores se apropian de las TIC dentro del contexto académico.

Para analizarlo y fundamentar lo anterior, se ha utilizado la taxonomía de Becher, que es una de las categorizaciones disciplinares más reconocidas y referenciadas en la literatura, la cual separa a las disciplinas según su dureza y pureza: Blanda-Pura, Blanda-Aplicada, Dura-Pura y Dura-Aplicada [6].

Cada una de de estas categorías presenta diferencias y características particulares, por ejemplo: las Blandas-Puras (p.e. Filosofía) se preocupan más por las cualidades, sus productos son el entendimiento y la interpretación, y están orientadas hacia las personas; las Blandas-Aplicadas (p.e. La enseñanza de Idiomas) son utilitarias, preocupadas por realizar práctica semi-profesional y sus resultados son protocolos y procedimientos; las Duras-Puras (p.e. Biología) se preocupan por asuntos universales, manejan hechos y datos cuantitativos, y sus resultados son descubrimientos y explicaciones; y por último, las Duras-Aplicadas (pe. Informática) tienen propósitos claros y específicos, son pragmáticas y sus resultados son productos y técnicas. Estas y

otras características enmarcadas en la categorización, hacen asumir la hipótesis de que al existir diferencias en el uso de las TIC (brechas digitales), las disciplinas con carácter utilitario y pragmático (las Aplicadas) tienden a tener mayores niveles de habilidad en el uso de las TIC, y mayor frecuencia de uso, ya que sus fines son prácticos.

Así este artículo presenta como casos de estudio a profesores de cuatro licenciaturas, una por cada cuadrante de la taxonomía, todas con establecimientos ubicados en la región Xalapa de la UV. Específicamente, este análisis se realiza bajo un enfoque comparativo de dos elementos: el nivel de habilidad para el manejo de las TIC (saberes digitales informáticos e informacionales) y la frecuencia de uso de las TIC en el contexto académico, es decir que se provee información -hasta ahora no existente- acerca de qué tanto saben y qué tanto aprovechan las TIC de acuerdo a su disciplina, lo que puede apoyar el diseño de estrategias y el trazo de líneas de acción en las que la disciplina sea un factor determinante para la dotación de infraestructura y el fortalecimiento de habilidades de los profesores, para lograr una efectiva incorporación de las TIC en el contexto académico.

1.2. Metodología

Esta investigación forma parte del proyecto de Brecha Digital de profesores y estudiantes universitarios de la Universidad Veracruzana, y los ejes que le orientan están enmarcados en dicho proyecto¹. La presente intervención se trata de un estudio de corte cuantitativo, basado en las comparaciones estadísticas de los saberes digitales [7, 8], frecuencia e intencionalidad de los profesores de cuatro licenciaturas; es observacional pues no se pretende manipular las variables sino observarlas en su contexto [9] y es transversal, pues se recabaron los datos en una sola temporalidad y no en diferentes momentos del tiempo. La técnica para la recolección de datos consistió en la aplicación de un cuestionario² a los profesores que impartieron clases en el periodo de febrero a agosto de 2014 y que completaron el instrumento en modalidad impresa y en el sistema en línea creado con este fin.

El estudio de caso, involucró a 108 profesores de los 186 que conforman el universo de las cuatro licenciaturas estudiadas (Se recabó información del 46% de los profesores de la Blanda-Pura, el 55% de la Blanda-Aplicada, el 42% de la Dura-Pura, y el 77% de la Dura-Aplicada. Con respecto al género, el 57% son mujeres y el 43% hombres. Y por último, de acuerdo a tres rangos de edad generados en el software estadístico SPSS, el 32% tiene entre 24 y 37 años, el 30% entre 38 y 48 años, y el 38% más de 48 años.

Para el análisis de la información, se construyeron índices en escala de 1 a 10, de cada saber digital [7], por ejemplo: de la habilidad para el manejo de dispositivos, archivos (locales y en línea), texto y texto enriquecido en procesador de palabras y administrador de diapositivas, datos en hojas de cálculo y software estadístico, y contenido multimedia; y otros relacionados con el manejo de la información, que en esta investigación se han denominado ciudadanía digital y literacidad digital. En el caso

¹www.uv.mx/blogs/brechadigital/

² Diseñado al interior del proyecto de Brecha Digital en el periodo de Agosto 2012-Septiembre 2013, basado en una revisión de marcos de referencia de organismos como OCDE, UNESCO, ISTE, ILCE, entre otros. Con dos pilotajes previos a la versión final, y validado por la comunidad académica de la línea de investigación de Políticas en Educación Superior del Instituto de Investigaciones en Educación de la UV. Disponible en brechadigital.aexiuv.com/.

de algunas otras variables como la cantidad de horas que utilizan los dispositivos móviles, se generaron categorías como de 0 horas (es decir que no lo usan), de 1 a 6 horas, y más de 6 horas, siempre diferenciando estos grados de uso por cada facultad. Para identificar las diferencias significativas entre los niveles de habilidad y frecuencia de uso de TIC de los profesores de las cuatro licenciaturas, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

2. Resultados

2.1. Saberes digitales informáticos e informacionales de los profesores

Saberes digitales Informáticos

En este tipo de saberes se considera el nivel de habilidad de los profesores para el manejo de dispositivos, archivos, texto y texto enriquecido, datos y contenido multimedia. Y respecto de cada saber, se encontró lo siguiente:

Dispositivos: Existen diferencias significativas ($kw=.001$)³, y se observa mejor nivel en la disciplina Dura-Aplicada (media= 8.5) arriba de la Dura-Pura (media=6.8); y de las Blandas, la Blanda-Pura (media=7.16) destaca sobre la Blanda-Aplicada (6.13). Ahora bien, las tareas que realizan con mayor habilidad en sus dispositivos, son: configurar un proyector (93% pueden hacerlo); encontrar y ejecutar programas (87%); Instalar programas (85%); administrar antivirus (85%); conectar y configurar impresora (83%) y cámara (82%); conectar un dispositivo de escritorio a Internet (82%) y administrar actualizaciones (81%). Además, en las que se encuentran profesores con menores habilidades para realizar cierto tipo de tareas, son las relacionadas con los dispositivos móviles como sin: conexión de dispositivos móviles a Internet (77%), la sincronización de dispositivos móviles (69%), y el mantenimiento general del sistema (69%).

Archivos: En este rubro se encontraron diferencias significativas ($kw=.014$) Y separando el manejo de archivos locales y archivos en línea, se encontró que el manejo de archivos en línea es lo que enmarca diferencias en los niveles de habilidad entre disciplinas. De los archivos locales, el 72% tienen un nivel arriba de la media (8.5), lo que indica que los profesores cuentan con un nivel alto para realizar tareas como copiar, cortar, pegar, eliminar, renombrar, buscar, restaurar, ver propiedades, comprimir y descomprimir, y transferir, entre otras. En cuanto al manejo archivos en línea, la media es de apenas 5.5 y más de la mitad (54.5%) de los profesores están por debajo de ésta. Además, las tecnologías más utilizadas para manejar archivos en línea, son: en primer lugar el correo electrónico (el 96% de los profesores le manejan con niveles altos y medios); en páginas web, foros y blogs (59%); en tecnologías de cómputo en la nube, como skydrive o google drive (57%); y en redes sociales (56%).

Texto y Texto Enriquecido: La media es de 7.17 y no hay diferencias significativas ($kw=.109$). En este rubro se revisa la habilidad para el manejo de texto en procesador de texto y administrador de diapositivas, y se observa que los profesores son

³Cuando el valor de la prueba de Kruskal-Wallis es menor a .05, la diferencia es significativa.

ligeramente más hábiles para el manejo del procesador de texto que para el administrador de diapositivas.

Datos: La media es de 5.76 y este es el saber con mayores diferencias significativas ($k_w=.00$), y quienes tienen mayor nivel de habilidad, son los profesores de la disciplina Dura-Pura (7.09); Dura-Aplicada (6.54); Blanda-Pura (5.31) y la más baja Blanda-Aplicada (3.9). Y al interior de esta variable, observamos que lo que incide en las diferencias del manejo de datos, es el manejo -o no- de software estadístico, pues las disciplinas de naturaleza Dura tienden a utilizar más datos de tipo cuantitativo, en relación a las disciplinas Blandas.

Contenido multimedia: En este saber, no se determinan diferencias significativas ($k_w=.127$), sin embargo se nota que los profesores de la disciplina Dura-Aplicada tienden a ser más hábiles en el manejo de contenido multimedia. Así, en términos generales, las habilidades en que destacan los profesores, son el manejo de dispositivos multimedia, la transferencia de archivos multimedia y la frecuencia con que consultan contenidos en Internet y, con un nivel más bajo, en la conversión y edición de contenido multimedia. Por último, es evidente que a pesar del manejo que hacen de contenido multimedia, la integración -es decir la creación de contenido con previa planeación, y composición de audio, video e imágenes- de contenido, no es una habilidad que posean los profesores.

Saberes digitales informacionales

Para los saberes informacionales se examinan algunas prácticas de los profesores para el manejo de información y las categorizamos sea en el saber de literacidad digital cuando nos referimos a la aplicación de criterios de evaluación y selección de información y a la utilización de fuentes especializadas de acuerdo a su disciplina; y o en el saber de ciudadanía digital que considera las prácticas que reflejan responsabilidad para la garantía de integridad de la información, su seguridad y la cautela con que publican información personal en Internet, y por otro lado prácticas legales en el uso de la información (por ejemplo, piratería).

Literacidad digital: Las disciplinas Puras están por encima de las Aplicadas, y la más alta es Blanda-Pura, pues aplica mayores criterios para la selección de información. Al interior de este indicador podemos observar que los profesores poseen y practican buenos criterios para la selección de información (es decir para verificar que sea confiable, examinar distintas fuentes y analizar y evaluar la información), sin embargo -en todos los casos-, declaran no aplicar técnicas para realizar búsquedas especializadas en Internet (por ejemplo, uso de palabras claves, operadores booleanos, operadores de búsqueda, entre otros).

Ciudadanía digital: Son los profesores de la Blanda-Pura son quienes con menor frecuencia tienen buenas prácticas de netiquete⁴, ejercen actividades que revelan responsabilidad en la integridad, seguridad, y cuidado de la información, así como algunos juicios de ética (principalmente en la descarga gratuita de películas). Ahora

⁴ Uso adecuado del lenguaje formal e informal escrito en su forma gráfica, por ejemplo evitar el uso excesivo de emoticones o tipos de letra difíciles de leer.

bien, con respecto a las demás disciplinas, la que tiene mejores prácticas de ciudadanía digital es la disciplina Dura-Pura, seguida de la Dura-Aplicada y la Blanda-Aplicada.

2.2. Apropiación de las TIC en el contexto académico universitario

Para efectos de este artículo, ya que lo que nos interesa es explorar evidencias del grado de apropiación de las TIC por parte del profesorado, nos enfocamos en la frecuencia con que los profesores utilizan las TIC para fines académicos (frecuencia e intencionalidad), y para esto se analiza la apropiación de: la computadora o laptop, dispositivos móviles, conectividad a Internet así como los servicios de TIC que pone a su disposición la universidad, y el software específico para cada disciplina.

Dispositivos: Considerando únicamente la frecuencia con que utilizan la computadora y laptop para fines académicos, encontramos que en general, los profesores tienden a usar más la laptop que la computadora y, las disciplinas que más la utilizan son las Duras (Aplicada, 90% y Pura, 86%) en comparación con las Blandas (Aplicada, 77% y Pura, 73%).

Dispositivos móviles: aquí se examinó la frecuencia de uso del smartphone y la tableta para fines académicos. Respecto al smartphone se encontró que alrededor de la mitad de los profesores lo utilizan para fines académicos, las que menos le utilizan son las disciplinas Aplicadas (en la Dura-Aplicada lo usan un 42% y Blanda-Aplicada el 43%); y de las Puras, en el caso de la Dura-Pura el 50% lo usa con fines académicos, y en la Blanda-Pura el 55%.

Internet: En este rubro, lo primero a resaltar, es que todos los profesores cuentan con acceso a Internet en las instalaciones de la UV y el 91% cuenta con servicio de Internet en casa, no así en el caso de la conectividad móvil, donde solo el 44% de los profesores cuenta con este servicio [10]. Lo que incide en el grado de apropiación (frecuencia de uso para fines académico), ya que se encontró que donde más se apropian de Internet es en su lugar de trabajo pues en el caso de todas las carreras, la frecuencia de conectividad dentro de la entidad académica es alta (medias entre 8 y 8.5); en segundo lugar está el hogar, donde se desataca que los profesores de la Dura-Aplicada. Por último, con respecto a la conectividad móvil, los grados de conectividad son bajos (medias entre 4.5 y 6.3).

Servicios de TIC institucionales: Los profesores de las disciplinas Puras, suelen usar un poco más los servicios institucionales (Dura-Pura $m=5.71$ y Blanda-Pura $m=5.43$), en relación a las disciplinas Aplicadas (Dura-Aplicada $m=5.07$ y Blanda-Aplicada $m=5.05$), aunque las diferencias no son significativas. Ahora bien, respecto a los servicios que más se utilizan, encontramos que el más utilizado es el servicio de correo electrónico en el que de acuerdo a la comparación de medianas, existe diferencia significativa ($m=.037$) destacándose los profesores de la disciplina Dura-Pura, quienes le usan con mayor frecuencia, seguidos de la Dura-Aplicada, Blanda-Pura y Blanda-Aplicada. El segundo servicio más utilizado, es el portal institucional, en el que no hay diferencias de uso marcadas por la disciplina. El tercer servicio más usado es la biblioteca virtual que refleja diferencias significativas ($kw=.002$) ya que en las disciplinas Puras (Blanda-Pura y Dura-Pura) hacen mayor uso, en comparación a las Aplicadas (Blanda-Aplicada y Dura-Aplicada) que la utilizan con menos frecuencia.

Otro servicio que presenta diferencias de uso, es el sistema de información distribuida, en el que es evidente que los profesores que hacen mayor uso, son los de licenciaturas Duras, y dentro de las Puras, quienes menos lo utilizan son los profesores de la Blanda-Pura. En relación a los repositorios institucionales como iTunes, revistas de la UV, entre otros, los profesores que más los utilizan son los profesores de la Blanda-Pura y, respecto a los demás servicios (salas audiovisuales y blogs institucionales), la frecuencia de uso es baja y no se enmarcan diferencias de acuerdo a la disciplina.

TIC para efectos de comunicación y colaboración: Se encontró que en ninguna disciplina hay niveles altos de comunicación, la que más se comunica es la disciplina Dura-Aplicada, con una media de apenas 6.23, y en el caso de la colaboración, la disciplina que destaca es la Blanda-Aplicada con una media aún más baja (4.58). Ahora bien, al revisar con mayor profundidad estos indicadores, encontramos lo siguiente:

En cuanto a comunicación académica, las frecuencias son similares en todas las disciplinas, sin embargo las disciplinas Duras suelen publicar información en Internet con mayor frecuencia en comparación a las Blandas y donde las tecnologías que más se utilizan para fines de comunicación académica, es el correo electrónico, y no hay diferencia entre disciplinas; en segundo lugar, el whatsapp, y quienes más le usan con fines académicos, son los profesores de la Blanda-Pura y quienes menos, los profesores de la Dura-Pura; respecto a las redes sociales, observamos que los profesores de disciplinas Blandas las utilizan con mayor frecuencia que los de las disciplinas Duras; el chat en computadora, es mayormente usado en las disciplinas Aplicadas y menos usados en las Puras; las plataformas educativas como Eminus, son poco utilizadas, y quienes más la usa, son las Duras en relación a las Blandas; y por último, el medio menos utilizado, son los mensajes de texto —sms— en el contexto académico de los profesores.

Respecto a la colaboración académica, no hay diferencias significativas, sin embargo, las disciplinas que destacan son las Aplicadas, y en la que menos se colabora, es en la Blanda-Aplicada. Y por último, de acuerdo a lo declarado, los profesores que más utilizan las redes sociales para colaborar, son los de la Blanda-Aplicada, y los que menos le utilizan, son los de la Blanda-Pura.

TIC para prácticas propias de la disciplina: Es evidente que los profesores que tienden a utilizar más software especializado para su disciplina, son los de disciplinas Duras, ya que el 81% de de la Dura-Aplicada declaran utilizar software especializado y el 72% de la Dura-Pura, hacen uso de algún software para el apoyo de su disciplina y, en el caso de las Blandas, es el carácter de aplicada la que diferencia el uso de TIC (43% de los profesores de la Blanda Aplicada usan software en comparación con un 19% de la Blanda-Aplicada). Ahora bien, respecto al tipo de software que utilizan en cada disciplina, se realizará un análisis a mayor profundidad para futuras publicaciones, sin embargo, hasta el momento se observa al interior de cada disciplina que: los profesores de la disciplina Dura-Aplicada superan el número de software declarado en comparación a las otras disciplinas, e introdujeron software para la realización de tareas propias de la informática, tales como manejadores de base de datos, ambientes de desarrollo (programación), control de versiones, software estadístico, editores de imágenes y diagramas, entre otros; los profesores de la Dura-Pura señalan utilizar software para el análisis de datos (mediciones, graficaciones y estadística), geolocalización, procesamiento y edición de imágenes, entre otros; los de la Blanda-

Aplicada señalan utilizar software para procesamiento de texto y texto enriquecido, reproducción de audio y video, así como para la edición de contenido multimedia; y por último, en la Blanda-Pura, la mayoría de los profesores no brindaron información acerca de software utilizado, y solo dos señalaron dos software relacionados con el procesamiento de texto (Latex y Acrobat).

3. Conclusiones

Respecto al papel de la disciplina en la habilidad para el uso de las TIC por parte de los profesores de las licenciaturas estudiadas en esta investigación, podemos concluir que la disciplina Blanda-Aplicada no destaca en los niveles de habilidad, caso contrario con la disciplina Dura-Aplicada, que en todas las habilidades analizadas tiende a destacar. Y en el caso del manejo de datos, la que destaca es la Dura-Pura debido a su naturaleza y tendencia al uso de datos cuantitativos. Sin embargo en términos de habilidades y prácticas en el manejo de información, el panorama es muy bueno, ya que las cuatro comunidades de profesores cuentan con niveles medios altos de habilidad. En términos de apropiación de las TIC, la aplicabilidad de las disciplinas, incide en un mayor uso de dispositivos, y frecuencia de uso de Internet para fines académicos. En lo que no destacan las aplicadas, es en la apropiación de servicios institucionales ya que les rebasan un poco las Puras, sin embargo es la Dura-Aplicada (Informática) donde se hace un mayor uso de sistemas de información distribuida. En el uso de las TIC para comunicarse y colaborar si favorece la aplicabilidad de la disciplina y por último, en el manejo de software especializado (de apoyo a su disciplina), no es la aplicabilidad lo que favorece la apropiación, sino la dureza, pues quienes hacen mayor uso de software especializado son la Dura-Pura y la Dura-Aplicada.

Dado este contexto y mecánica de trabajo, así como los resultados obtenidos, se cuenta con elementos para realizar análisis con mayor profundidad en cada uno de los elementos expuestos en este artículo, así como estar en condiciones de llevar a cabo estudios bajo perspectivas similares, pues hasta este punto de la investigación se ha hecho evidente la importancia que juega la disciplina en apropiación de las TIC de los profesores universitarios.

Referencias

1. Alarcón, E., Ortiz, V.: Estudiantes, profesores y TIC. La investigación en México, En Ramírez-Martinell, A., Casillas, A.M., Háblame de TIC: Tecnología Digital en la Educación Superior. 1a ed. Córdoba: Editorial Brujas (2013)
2. Covi, D.: Acceso, uso y apropiación de las TIC en comunidades académicas. Diagnóstico en la UNAM, México, D.F.: Plaza y Valdés, (2009)
3. Kozma B.R.: National Policies that conect ICT-Based Education Reform to Economic and Social Developmet. Human Tecnology (2005)
4. PETIC-UV. Plan Estratégico de Tecnologías de Información y Comunicaciones, Dirección General de Tecnologías de Información. Recuperado el 15 de Abril, desde <http://www.uv.mx/transparencia/files/2012/10/PlandeDesarrolloTecnologicoUV.pdf>. (2012)
5. Universidad Veracruzana: Información Estadística, UV. Recuperado en Noviembre de 2014 de: <http://www.uv.mx/informacion-estadistica/consultas-dinamicas/> (2014)

6. Clark, B.: El sistema de Educación Superior una visión comparativa de la organización académica. Nueva imagen - Universidad Futura, UAM: México (1983)
7. Trowler, P., Knight P.: Department-level Cultures and the Improvement of Learning and Teaching. *Studies in Higher Education*. Vol. 25, No. 1, Carfax Publishing (2000)
8. Becher, T.: Tribus y territorios académicos. La indignación intelectual y las culturas de las disciplinas Barcelona: Gedisa (2001)
9. Georgina, D.A., Olson, M.R.: Integration of technology in higher education: A review of faculty self-perceptions. *Internet and Higher Education*, Vol. 11, No. 1, pp. 1–8 (2008)
10. Johnson, T., Wisniewski, M., Kuhlemeyer, G., Isaacs, G., Krzykowski, J.: Technology adoption in higher education: Overcoming anxiety through faculty bootcamp. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, Vol. 16, No. 2, pp. 63–72 (2012)
11. Meyer, K.A., Xu, Y.: A causal model of factors influencing faculty use of technology. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, Vol. 13, No. 2, pp. 57–70 (2009)
12. Roberts, F., Kelley, C.L., Medlin, B.: Factors influencing accounting faculty members' decision to adopt technology in the classroom. *College Student Journal*, Vol. 41, No. 2, pp. 423–435 (2007)
13. Ojeda, M., Díaz, J., Apodaca, C., Trujillo, I.: *Metodología de Diseño Estadístico*. Xalapa, México: Universidad Veracruzana (2004)
14. Morales, A.T., Ramírez-Martinell, A.: Brecha digital de acceso entre profesores universitarios, de acuerdo a su disciplina. *Revista Debate Universitario*, Vol. 3, No. 6, pp. 149–158, República Argentina (2015)
15. Ramírez-Martinell, A., Morales, A.T., Olguín, P.A.: Marcos de referencia de Saberes Digitales. Edmetic: *Revista de Educación Mediática y TIC*, Vol. 4, No. 2 (2015)
16. Ramírez-Martinell, A., Casillas, M.A., Contreras, C.C.: La incorporación de las TIC a la enseñanza universitaria de los idiomas. *Revista Debate Universitario*, Vol. 3, No. 5, pp. 123–138, República Argentina (2014)
17. Torres, C., Moreno, G.: Inclusión de las TIC en los escenarios de aprendizaje universitario. *Revista Innovación Educativa*, Vol. 5, No. 1, Obtenido de <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura3/article/view/369> (2013)
18. Zubieta, Bautista, Quijano: Aceptación de las TIC en la docencia. Una tipología de los académicos en la UNAM, México: UNAM (2012)

Arquitectura de referencia para aplicaciones con tecnología NFC basadas en Android

Alejandra Anaya, Ignacio López, Celia Romero,
Beatriz Olivares, Hilarión Muñoz

Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México

alejandra_anaya@acm.org {ilopez, cromero, bolivares}@ito-depi.edu.mx,
hmunozc198@msn.com

Resumen. NFC (Near Field Communication, Comunicación de campo cercano) es el resultado de la integración de distintas tecnologías, tales como RFID, tarjetas inteligentes y de comunicación inalámbrica, lo cual le brinda una ventaja evidente al ser compatible con las mismas. Actualmente se ha vislumbrado la potencialidad de esta tecnología y el desarrollo de aplicaciones NFC está incrementando considerablemente, sin embargo, no se documentan arquitecturas de referencia en el contexto de NFC que permitan el desarrollo de aplicaciones en un tiempo más corto y apoyen en la estandarización y evolución de este tipo de aplicaciones. Por tal motivo en el presente trabajo se propone una arquitectura de referencia para el desarrollo de aplicaciones NFC basadas en el Sistema Operativo Android y se presenta la implementación de un caso de estudio aplicando la arquitectura propuesta.

Keywords: NFC, arquitectura de referencia, aplicaciones NFC, android.

1. Introducción

NFC es una tecnología de comunicación inalámbrica relativamente nueva; surgió en el año 2002 y fue creada por la compañía Sony Philips, sin embargo, fue hasta principios del año 2009 cuando alcanzó un uso más amplio debido a su integración en teléfonos celulares, abarcando aplicaciones en distintas áreas, tales como medicina, control de accesos, publicidad, educación, identificación, control de activos, pagos móviles, por mencionar algunos [1]. Sus principales características son: 1) comunicación de corto alcance (máximo 10 cm.) lo que brinda a NFC una seguridad implícita en el intercambio de información crítica; 2) alta frecuencia en la velocidad de transmisión de datos (424 Kbits por segundo) ya que está diseñada para transmitir pequeñas cantidades de información rápidamente; 3) facilidad de uso al brindar al usuario una manera intuitiva de utilizarla; 4) compatibilidad con otras tecnologías existentes debido a que su principal objetivo es complementarlas [2].

A partir de la integración de la tecnología NFC en los teléfonos celulares se comenzaron a realizar proyectos de prueba para realizar pagos con móviles utilizando esta tecnología, y se incrementó significativamente el desarrollo de aplicaciones en 38 países con resultados exitosos [3], asimismo existen documentadas algunas

arquitecturas de aplicaciones NFC, sin embargo, dichas arquitecturas son propias al sistema a desarrollar, y no se encuentran documentadas arquitecturas de referencia para el desarrollo de este tipo de aplicaciones. Por otra parte las arquitecturas de referencia proveen una base para el desarrollo de aplicaciones dentro de un dominio específico al definir un conjunto de componentes de construcción [4]; es por este motivo, que el objetivo del presente artículo es dar a conocer una arquitectura que defina los elementos arquitectónicos abstractos de un sistema NFC, con la finalidad de obtener arquitecturas de software dentro del dominio de la tecnología NFC y lograr la implementación de aplicaciones en un tiempo relativamente más corto. Por otro lado contar con una arquitectura de referencia es de suma importancia para homogeneizar el desarrollo de este tipo de aplicaciones y así lograr una interacción transparente entre distintas tecnologías.

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se mencionan brevemente algunos trabajos relacionados, posteriormente en la sección 3 se define la arquitectura propuesta y se describen los componentes que la conforman; en la sección 4 se presenta la implementación de un caso de estudio como prueba de concepto utilizando la arquitectura propuesta, el cual consiste en una aplicación Android con tecnología NFC para gestionar el préstamo de libros de la biblioteca de posgrado del Instituto Tecnológico de Orizaba, finalmente en la sección 5 se mencionan las conclusiones y trabajos a futuro.

2. Trabajos relacionados

A lo largo de los últimos años se han realizado diferentes proyectos dentro del contexto de la tecnología NFC, además, estos proyectos proveen información acerca de sus conceptos principales, Paus Anikka et al. [5] definen a NFC como una tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance entre dispositivos que la soporten, utilizando la inducción de campo magnético para establecer dicha comunicación. En [6] se indica que el funcionamiento de NFC es bastante simple ya que únicamente intervienen 2 dispositivos; al que inicia la comunicación se le llama “iniciador” y el que responde se le denomina “objetivo”, la comunicación se inicia cuando los dispositivos se acercan el uno al otro a una distancia muy corta, máximo de 10 cm. Por otro lado Paus Anikka et al. [5] afirman que la característica de corto alcance de NFC no es una desventaja, porque brinda una mayor seguridad en la transferencia de datos y Riyazuddin et al. [7] enfatizan el uso de SSL (Secure Sockets Layer, Capa de Conexión Segura) para codificar y transmitir dichos datos de manera segura. Con base en un análisis comparativo realizado en [2] entre NFC y otras tecnologías de comunicación inalámbrica tales como Bluetooth e IrDa (Infrared Data Association, Asociación de Datos Infrarrojos) se identificaron los siguientes beneficios a favor de NFC: Fácil configuración, compatible con infraestructuras RFID, seguro, de bajo costo, entre otros; cabe mencionar que la facilidad en el uso y configuración de NFC es una característica muy importante porque brinda a los usuarios una manera transparente e intuitiva de interactuar con dicha tecnología y otras ya existentes.

Con respecto a aplicaciones de NFC en [8] se presenta un sistema utilizando etiquetas NFC y el teléfono celular Nokia 6212 para rastrear el uso de cloro en el agua potable de los hogares en Haití. Las etiquetas NFC se adhirieron a los contenedores de

agua en los hogares para que los trabajadores (que realizaban visitas en las casas periódicamente, midiendo manualmente la cantidad de cloro en el agua) únicamente acercaran el celular a la etiqueta NFC y mediante una aplicación en el celular actualizaran la cantidad de cloro y una serie de medidas necesarias que anteriormente se registraban en hojas de papel. En [9] se presenta un caso de estudio utilizando un teléfono celular con hardware TEE (Trusted Execution Environment, Entorno de Ejecución Confiable) para la identificación de boletos de transporte haciendo énfasis en aspectos de seguridad y desempeño. Se describe la arquitectura utilizada y se realiza un análisis de las propiedades de seguridad proporcionadas por la arquitectura propuesta. Para lograr la comunicación entre el lector de boletos y el teléfono se utilizó LLCP (Logical Link Control Protocol, Protocolo de Control de Enlace Lógico) que permite el intercambio de datos entre dos dispositivos. G. Madlmayr et al. [10] afirman que a pesar de que NFC brinda al usuario final una interacción simple, la infraestructura detrás de este escenario es bastante compleja y se requiere de distintos mecanismos para asegurar la interoperabilidad de las aplicaciones, por lo tanto proponen una arquitectura para gestionar aplicaciones de tarjetas inteligentes de manera segura en los dispositivos NFC.

En [11] se define a una arquitectura de referencia como un marco común, el cual se personaliza para obtener arquitecturas dentro de un dominio de aplicación específico; además se presenta una arquitectura de referencia para el procesamiento de eventos.

En [12] se discute la importancia que poseen los componentes y la composición en la definición de arquitecturas de referencia y se menciona la manera en la que el diseño basado en componentes contribuye significativamente en la definición y uso de este tipo de arquitecturas en la práctica, además se enfatiza que los puntos de variación de una arquitectura son las relaciones entre las características padre-hijo dentro del modelo.

Como se observa en los trabajos anteriormente examinados, se identifican algunas cuestiones como: a) En [9] y [10] se presentan arquitecturas de las aplicaciones NFC, sin embargo estas son propias del sistema que se presentó, es decir, no son arquitecturas de referencia. b) En [11] y [12] se proponen arquitecturas de referencia, no obstante éstas son de dominios de aplicación diferentes a la tecnología NFC, por lo tanto el presente trabajo busca solventar estas deficiencias al definir una arquitectura de referencia para aplicaciones NFC y reforzarla implementando un caso de estudio utilizando la arquitectura propuesta.

3. Arquitectura

En esta sección se presenta la definición de la arquitectura, que se basa en los patrones arquitectónicos Modelo-Vista-Controlador y SOA (Service-Oriented Architecture, Arquitectura Orientada a Servicios) [13].

3.1 Planteamiento de la arquitectura

La figura 1 muestra las capas de la arquitectura propuesta, y se describen las responsabilidades de cada una de las mismas. La funcionalidad de la tecnología NFC se ubica en la capa cliente.

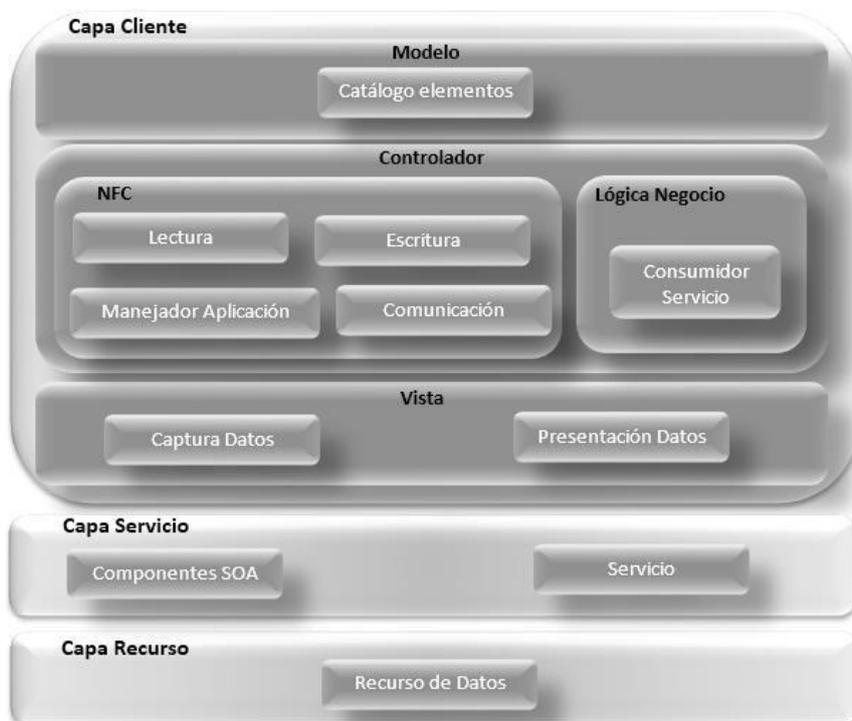


Fig. 1. Arquitectura de referencia para aplicaciones NFC.

La capa de modelo del cliente se encuentra conformada de la siguiente manera: *Catálogo de elementos*. Se encarga de almacenar en el dispositivo los datos necesarios para el correcto funcionamiento de la aplicación.

La capa de lógica del cliente se encuentra conformada por los siguientes componentes:

Lectura. Componente ubicado dentro del módulo NFC, el cual se encarga de gestionar la lectura de datos de las etiquetas NFC a la aplicación, genera el campo de radiofrecuencia necesario para extraer los datos de las etiquetas y se ocupa de brindar un formato adecuado a los mismos, asimismo interactúa con el componente de comunicación para establecer el enlace del dispositivo con la etiqueta.

Escritura. Componente ubicado dentro del módulo NFC, el cual se encarga de la preparación y manipulación de datos que se requieren escribir en la etiqueta, ya que es necesario que cumplan una serie de requisitos previos, entre los cuales están brindarles el formato adecuado además de especificar el tipo de registro que se va a almacenar, es decir si es una url, texto plano, número telefónico, ubicación, entre otros.

Comunicación. Componente ubicado en el módulo NFC, el cual es el encargado de realizar el enlace entre el dispositivo y la etiqueta, además se encarga de gestionar el adaptador NFC del dispositivo.

Manejador de aplicación. Componente ubicado dentro del módulo NFC, el cual es el encargado de gestionar la ejecución de la aplicación correspondiente cuando el

dispositivo entra en contacto con una etiqueta NFC y así evitarle la tarea al usuario de buscar y ejecutar la aplicación.

Consumidor de servicio. Componente ubicado dentro del módulo de lógica del negocio, el cual lleva a cabo la invocación del servicio web.

La capa de presentación del cliente cuenta con 2 componentes:

Captura de datos. Se encarga de mostrar las vistas necesarias para la solicitud de datos al usuario.

Presentación de datos. Es el encargado de proporcionar las vistas necesarias para el despliegue de información al usuario.

La capa de servicio está formada por los siguientes componentes:

Componentes SOA: Componente de la Capa de servicios, el cual es el encargado de lograr la interoperabilidad de aplicaciones al brindar la infraestructura SOA necesaria.

Servicio. Componente de la capa de servicios, encargado de atender las peticiones de los consumidores.

La capa de recursos está formada por:

Recurso de datos. Componente de la capa de recursos, encargado de almacenar y proporcionar datos al componente de servicio.

4. Caso de estudio: BibliotecaNFC

El caso de estudio que se utilizó para implementar la arquitectura planteada consistió en una aplicación Android para la gestión de auto-préstamo de libros de la biblioteca de posgrado del Instituto Tecnológico de Orizaba. Los actores que intervienen en el sistema son: El alumno y el encargado de la biblioteca, como se muestra en la figura 2.

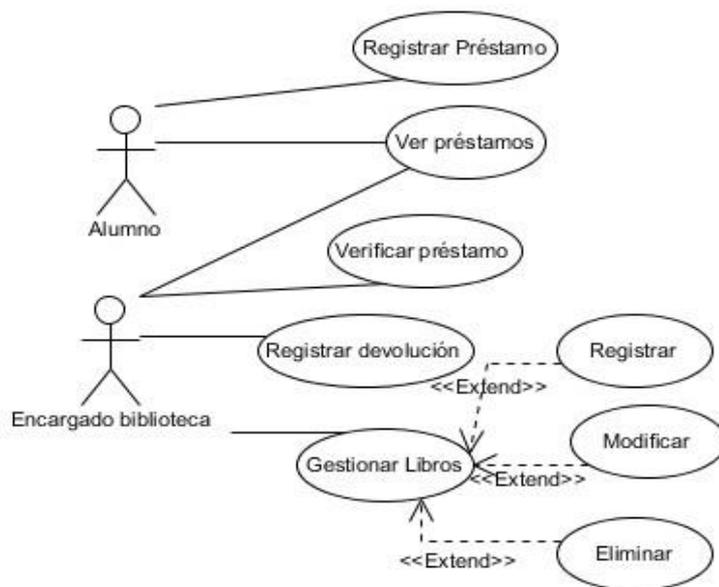


Fig. 2. Diagrama de casos de uso del sistema BibliotecaNFC.

Ambos utilizan un teléfono celular equipado con tecnología NFC para interactuar con los libros, a los cuales se les adhirió una etiqueta NFC, que contiene información relevante de los mismos. El escenario es el siguiente: 1) El alumno ingresa a la biblioteca y realiza el préstamo de un libro por medio de la aplicación instalada en su teléfono. 2) El encargado de la biblioteca verifica que el alumno efectivamente haya registrado el préstamo del libro y le permite salir de la biblioteca con el respectivo libro. 3) Cuando el alumno regresa el libro a la biblioteca el encargado de la biblioteca registra la devolución del libro. Todas estas funciones se realizan de manera muy sencilla gracias a la tecnología NFC ya que cuando el teléfono celular entra en contacto con la etiqueta del libro la aplicación se ejecuta automáticamente y el usuario simplemente necesita pulsar un botón para realizar cada una de las operaciones correspondientes.

4.1. Aplicación de la arquitectura

La distribución de las clases de la aplicación biblioteca NFC empleando la arquitectura propuesta se muestra en la figura 3, asimismo se observan las relaciones que existe entre clases y el componente de la arquitectura al que pertenecen dichas clases. Como resultado del caso de estudio se obtuvo que la aplicación es fácil e intuitiva, ya que se realizaron pruebas con el usuario final (encargado de la biblioteca) sin ningún tipo de capacitación previa y no tuvo problemas al utilizarla, además se redujo el tiempo en el desarrollo del caso de estudio al poseer una arquitectura definida previamente.

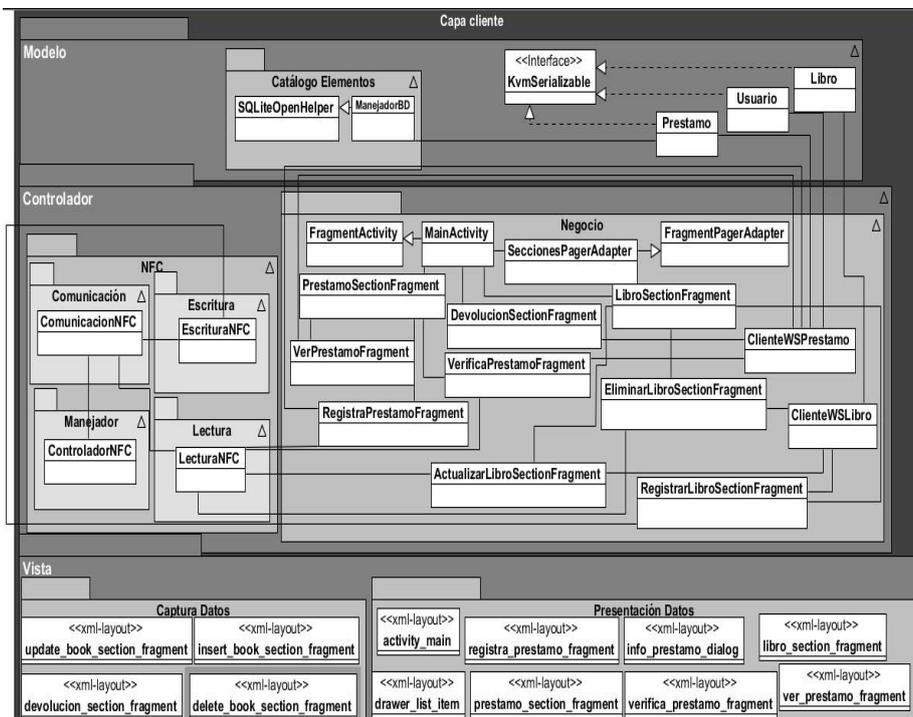


Fig. 3. Capa Cliente arquitectura implementada.

5. Conclusiones y trabajos a futuro

Se presentó la arquitectura de referencia para aplicaciones con tecnología NFC y se implementó un caso de estudio con el objetivo de probar la arquitectura, al ser una tecnología nueva es necesario invertir una cantidad significativa de tiempo en obtener los conocimientos fundamentales para desarrollar aplicaciones en el campo de NFC, por lo tanto contar con una arquitectura de referencia es de suma importancia para agilizar el proceso de desarrollo, por consiguiente la arquitectura propuesta en el presente artículo busca solventar dicha necesidad. Asimismo se realizaron pruebas de usabilidad al responsable de la biblioteca y se obtuvieron resultados exitosos, ya que el usuario no tuvo problemas al utilizar la aplicación.

Como trabajos a futuro se tiene contemplado realizar un segundo caso de estudio para reforzar la arquitectura presentada.

Agradecimientos. Los autores de este artículo agradecemos al CONACyT y a la DGEST por el apoyo y confianza depositados para la investigación y desarrollo del presente.

Referencias

1. Ok, K., Aydin, M.N., Coskun, V., Ozdenizci, B.: Exploring underlying values of NFC applications. In Proc. of International Conf. on Management (2010)
2. Ok, K., Coskun V., Ozdenizci, B.: Near Field Communication From Theory to Practice. In Proc. of International Conf. on Management Technology and Applications (ICMTA), Singapur, Singapur, pp. 10–12 (2010)
3. Ahson, S.A., Ilyas, M.: Near Field Communications Handbook. Broken Sound Parkway NW, CRC Press, pp.68–75 (2012)
4. Cavalcante, E. Alves, M.P., Batista, T., Delicato, F.C., Pires, P.F.: An Analysis of Reference Architectures for the Internet of Things. pp. 13–16 (2015)
5. Paus, A.: Near field communication in cell phones. In Chair for Communication Security, Vol. 24, p. 8 (2007)
6. E.S., J. Kaartinen, J.P., A. Ylisaukko-oja, I.K.: Application of near field communication for health monitoring in daily life. In Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS'06, 28th Annual International Conference of the IEEE, pp. 3246–3249 (2006)
7. Riyazuddin, M.: NFC, a review of the technology, applications and security. (2009)
8. J. Kaye, D. H., E. Seto, B. E., Ritter, M.: Using NFC phones to track water purification in Haiti. In CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 677–690 (2012)
9. S.T., J.-E. Ekberg, N.A.: Identity verification schemes for public transport ticketing with NFC phones. In Proceedings of the sixth ACM workshop on Scalable trusted computing, pp. 37–48 (2011)
10. Madlmayr, G.: A mobile trusted computing architecture for a near field communication ecosystem. In Proceedings of the 10th international conference on information integration and web-based applications & services, pp. 563–566 (2008)
11. K.L., Simone Di Cola: (Reference) Architecture = Components + Composition (+ Variation Points). pp. 1–4 (2015)
12. Paschke, A.P.V.: A reference architecture for event processing. In Proceedings of the Third ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems, p. 25 (2009)
13. Len Bass, P.C., Rick, K.: Software Architecture in Practice. Addison Wesley. (2013)

i-Co²Q: protocolo inteligente para el control de la congestión consciente de la QoS aplicado al monitoreo de signos vitales

Enriqueta Patricia Becerra-Sánchez, Antonio Guerrero-Ibáñez,
Raymundo Buenrostro-Mariscal

Universidad de Colima, Facultad de Telemática, Colima,
México

{ebecerra0, antonio_guerrero, raymundo}@ucol.mx

Resumen. En los últimos años el uso de las redes de sensores enfocados al desarrollo de aplicaciones médicas se han incrementado especialmente para el monitoreo de signos vitales en pacientes, dando apertura al desarrollo de redes de área corporal (WBAN). Sin embargo, la información recolectada de las WBAN tiene diferentes requerimientos de comunicación (datos heterogéneos, fiabilidad de entrega, retardo, etc.). Las características naturales de operación de las WBAN hacen que sufran problemas de congestión, debido a la saturación del canal de comunicación y al desbordamiento de buffer provocando colisiones y desbordamiento que se traducen en pérdida de paquetes. Es así como surge i-Co²Q un protocolo inteligente consciente de la calidad de servicio para el control de la congestión aplicado al monitoreo de signos vitales. Los resultados obtenidos muestran la eficiencia del protocolo propuesto en ambientes de la salud.

Palabras clave: WBAN, control de congestión, calidad de servicio (QoS).

1. Introducción

En los últimos años los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de mejores servicios para el cuidado de la salud, proporcionando herramientas para el monitoreo de los signos vitales de los pacientes en tiempo real que apoyen los diagnósticos médicos [1], surgiendo el concepto de Redes de área corporal (WBANs por sus siglas en inglés Wireless Body Area Networks) las cuales están pensadas en el monitoreo remoto de los pacientes [2]. Estas redes se componen de un conjunto de sensores pequeños localizados dentro o fuera del cuerpo humano encargados de recolectar diferentes signos vitales (tales como la presión sanguínea, pulso, temperatura, electrocardiograma (ECG), entre otros) y transmitirlos a un dispositivo cercano llamado nodo Sink [3, 4].

Las WBANs generan datos heterogéneos, es decir, distintos tipos de datos y volúmenes de tráfico que a su vez tienen diferentes requerimientos de transmisión (por ejemplo velocidad de datos, confiabilidad y prioridad en la entrega), saturando la red de tráfico diverso, provocando colisiones, originando congestión, pérdida de paquetes y por consecuencia una baja calidad de servicio de comunicación[5][6].

Si se desea realizar un monitoreo de pacientes en tiempo real de forma eficiente, es necesario implementar protocolos que soporten calidad de servicio para mejorar la eficiencia de transmisión de la información dentro de un entorno, por ejemplo diferenciar los distintos flujos de información, prioridad de datos y controlar la congestión.

Es así como surge i-Co²Q, un protocolo inteligente para el control de la congestión que permita detectarla, notificarla y mitigarla mejorando la eficiencia de la transmisión de los datos consciente de la calidad de servicio en la red.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma, la sección 2 presenta una serie de trabajos relacionados al tópico de nuestra propuesta. Una descripción detallada del protocolo i-Co²Q se presenta en la sección 3. En la sección 4 se muestra la simulación realizada. La sección 5 muestra un análisis de los resultados obtenidos. Finalmente cerramos este trabajo con las conclusiones.

2. Trabajos relacionados

Dentro de la literatura podemos encontrar varios trabajos relacionados sobre el control de congestión y fiabilidad de la transmisión de los datos dentro del área de redes de sensores. En [6] se analizan varios de ellos y a continuación se presentan las investigaciones que más relación tienen con el presente trabajo.

El protocolo STCP [7] detecta la congestión local, utiliza un grado de utilización del buffer en cada nodo intermedio involucrado en la transmisión de datos, envía una notificación de congestión de forma implícita, es decir, fijando un bit en el campo de notificación de congestión (CN) del encabezado del paquete de datos y del paquete Ack. Cada nodo de la red tiene la posibilidad de detectar la congestión y generar la notificación hacia el Sink, cuando un nodo recibe la notificación de congestión, éste direcciona los paquetes sucesivos del flujo de datos por una ruta diferente, siempre y cuando se tenga un algoritmo en la capa de red que permita este proceso, o disminuir la velocidad de transmisión de los nodos fuente.

Por otro lado en [8] se presenta TRCCIT un mecanismo para detectar la congestión en los nodos mediante una comparación de la tasa de arribo de paquetes, contra la tasa de envío, notificando de forma inmediata a los vecinos de la congestión mediante la activación de un bit en cada paquete que sale del nodo. TRCCIT resuelve la congestión de forma pro-activa, es decir, selecciona varias rutas para redirigir el tráfico de los nodos fuente. Sin embargo, esto provoca que los paquetes tarden en llegar a su destino, incrementando el tiempo de transmisión de los datos.

El protocolo CODA [9] utiliza el nivel de ocupación del buffer para determinar la carga actual y detectar con más precisión la congestión en cada receptor, para difundir el grado de congestión utiliza la notificación explícita hacia los nodos fuente, al recibir este mensaje los nodos reducen la tasa de envío y retransmiten el aviso a los nodos vecinos, esta forma es conocida como backpressure. Sin embargo, al hacer retransmisiones a los nodos vecinos se consume mucha energía.

En [10] se presenta CTCP un protocolo que determina la presencia de congestión a través de la verificación del umbral del buffer y la pérdida de paquetes. Este protocolo utiliza un mecanismo de reconocimiento de paquetes que distingue si las causas de la congestión son por desbordamiento del buffer o por error de la transmisión, el nodo que

detecta la congestión utiliza la notificación explícita generando mensajes a todos los nodos vecinos para indicarles que no pueden recibir más paquetes. Para resolver la congestión utiliza un mecanismo que ajusta gradualmente la tasa de transmisión en los nodos fuente evitando una reducción agresiva. Sin embargo al detener la recepción de paquetes en los nodos vecinos, produce la pérdida de paquetes.

En los trabajos de investigación mencionados anteriormente sobre el control de congestión, podemos notar que ninguno considera las necesidades de las aplicaciones; por lo tanto el protocolo *i-Co²Q* se enfoca en el control de congestión consciente de la calidad de servicio en aplicaciones médicas.

3. Propuesta del protocolo *i-Co²Q*

Nuestro esquema se basa en un escenario de red en un entorno hospitalario, el cual consiste en el desplazamiento de los pacientes dentro de la zona de cobertura. Los pacientes llevan una serie de sensores interconectados a un nodo inalámbrico que permite recolectar información sobre sus signos vitales y los envía a un nodo intermedio; éste sirve como puente de comunicación entre el paciente y la computadora final donde la información es analizada por el personal médico (enfermera o médicos), tal y como se muestra en la figura 1.

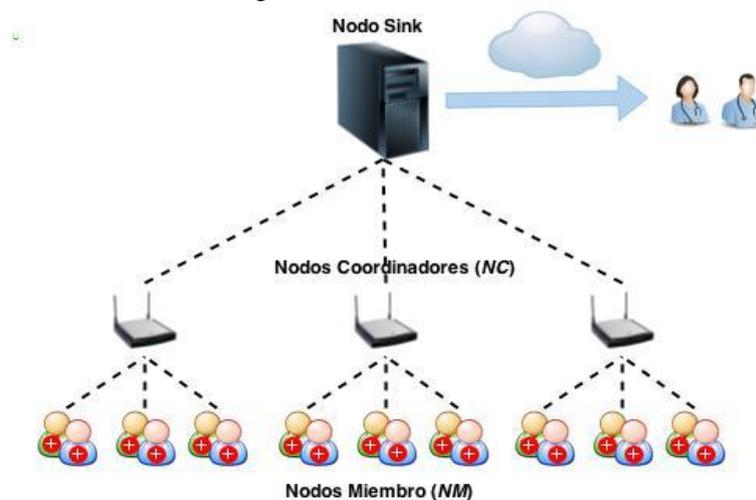


Fig. 1. Representación de la arquitectura física.

El esquema propuesto se dividió en dos arquitecturas: la física y la lógica. A continuación se describen sus módulos y componentes que conforman cada arquitectura.

3.1. Arquitectura física

La arquitectura física está compuesta de dispositivos interconectados en una red inalámbrica, basada en una estructura jerárquica de tres niveles conformada por

pacientes en el nivel inferior, nodos coordinadores en el nivel intermedio y en el último nivel el nodo sink (Fig. 1).

El nivel uno formado por los nodos miembro (NM), representan los nodos compuestos con todos los sensores que trae interconectado cada uno de los pacientes, recolectando la información censada para después enviarla a los nodos en el nivel dos.

El segundo nivel de la estructura son los nodos coordinadores (NC) que tienen contacto directo con el nivel uno y tres, además de ser responsables de administrar una serie de NM.

Por último en el nivel tres se encuentra el equipo final denominado Sink (NS) donde se recibirán los datos censados, asimismo, este nivel es responsable de regular el registro y actualización de sesiones por paciente.

3.2. Arquitectura lógica

La arquitectura lógica de esta propuesta la conforman cuatro módulos principales: control de sesiones, recolectado y congestión los cuales son distribuidos entre los diferentes nodos que conforman la arquitectura física (figura 2).

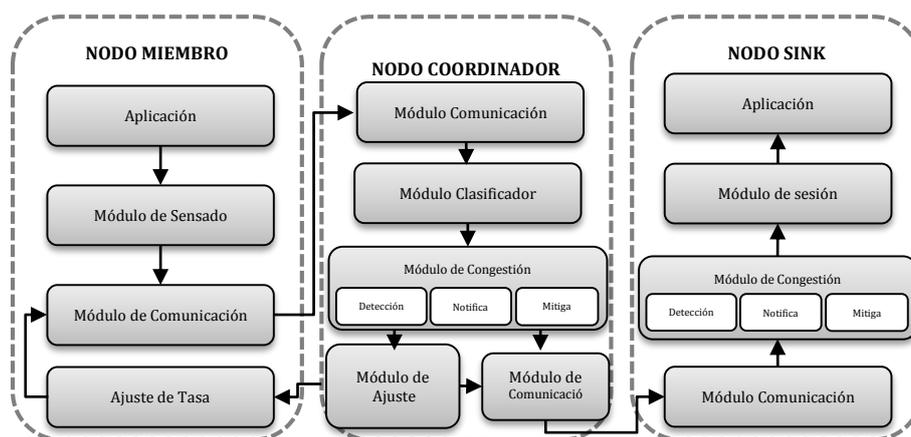


Fig. 2. Representación de la arquitectura lógica.

El módulo de sesión el cual se encuentra en el NS se encarga de registrar a cada NM en su tabla de gestión de sesión, indicando el NC al que está conectado de acuerdo a la estructura, además le asigna un número de sesión por nodo. Este proceso sólo se ejecuta cuando los nodos se activan por primera vez, cada NM envía un mensaje de broadcast para solicita su registro al NS, el cual creará una nueva sesión para el nuevo nodo.

El módulo de censado se encuentra localizado en el NM y es responsable de recolectar y enviar la información de cada nodo del paciente, con parámetros de frecuencia de envío y ancho de banda definidas dependiendo del tipo de información.

El módulo de comunicación situado en los tres nodos y es encargado de enviar y recibir los paquetes de manera fiable de extremo a extremo, cubriendo los requerimientos de las métricas tales como retardo de transmisión del paquete y la tasa de entrega de datos.

El módulo clasificador se encuentra en NC y es encargado de identificar y clasificar los tipos de datos a través de su prioridad. La prioridad para cada tipo de dato la define el módulo de aplicación y se define con valores 1, 2 y 3 donde 1 representa prioridad más alta. Este módulo implementa un sistema de colas permitiendo que los nodos intermedios cambien el orden de entrega de paquetes al nodo Sink, de acuerdo a su importancia (por ejemplo, en tiempo real, tiempo no real, tipo de aplicación, etc.). Este sistema permite reducir el retardo de extremo a extremo en la transmisión de datos, mejora la eficiencia en términos de tiempo de espera y mínimo consumo de energía.

El módulo de ajuste encargado de definir la nueva tasa de transmisión para cada uno de los nodos que conforman el NC donde se detecta la congestión. Para definir la nueva tasa de ajuste se considera la prioridad del tipo de datos y la pérdida de paquetes del nodo donde se detectó la congestión. El ajuste se calcula para todo los nodos que tengan una prioridad menor o igual a la prioridad de dato (ec. 1).

$$F_{ajuste}(i) = P_i NPP_{NodoCong}, \quad (1)$$

donde P_i representa la prioridad del tipo de dato y $NPP_{NodoCong}$ es el número de paquetes perdidos del nodo congestionado.

El módulo de control de congestión ubicado en el NC y NS es responsable de medir la congestión de acuerdo a la pérdida de paquetes, controlando la tasa de flujo de paquetes y balanceo de carga, evitando retrasos o pérdida de paquetes y como consecuencia un bajo nivel de calidad de servicio. Este módulo se divide en tres fases esenciales las cuales se describen a continuación:

i) Detección de congestión: Esta fase permite detectar al NC o al NS la presencia de congestión dentro del área de cada nodo; para lograrlo utiliza un mecanismo de reconocimiento y control de la secuencia de paquetes transmitidos, este mecanismo se denomina incidencia y monitorea el número de secuencia de cada paquete recibido, si se detecta pérdida de paquetes se activa una incidencia, la finalidad de la incidencia es identificar situaciones tempranas de problemas de congestión.

ii) Notificación: cuando el NC detecta una violación en el porcentaje de paquetes perdidos o se rebasa el límite de incidencias definido, el NC propaga un mensaje de control de forma inmediata hacia los NM que lo conforman. Dentro del mensaje el NC tendrá que informar a los NM el reajuste adecuado de tasa de transmisión que se realiza en el módulo de ajuste de acuerdo al tipo de tráfico. La notificación de la congestión se hace de manera explícita, es decir, utiliza mensajes de notificación de congestión especiales para informar a los nodos implicados de la existencia de congestión.

iii) Mitigación: Para mitigar el problema de la congestión se toman acciones proactivas y dinámicas, permitiendo que cada NM de la red sea capaz de controlar su propio flujo de datos a través del ajuste de la tasa de tráfico dependiendo de las incidencias del NC. Utiliza el modo extremo a extremo (E2E – Por sus siglas en inglés end-to-end) que impone el ajuste de tasa exacta para cada NM. Si el NC sigue experimentando congestión, seguirá disminuyendo la tasa de flujo de datos hasta que se solventa el problema de congestión dentro del NC.

4. Simulación de i-Co²Q

El desempeño de i-Co²Q se evaluó mediante simulaciones usando la herramienta CASTALIA [11] que está basada en Omnet++ [12]. El protocolo se comparó con un

escenario donde no se aplica QoS (el cual denominamos no-QoS). Para la evaluación se analizaron las métricas de consumo de energía, porcentaje de paquetes recibidos por el Sink y paquetes perdidos.

4.1. Escenario de la simulación

Para la simulación se definió un área con dimensiones de 400 x 400m, formado con un total de 33 nodos: 1 nodo sink, 4 nodos coordinadores y 7 nodos miembro por cada cluster, los cuales fueron desplegados de manera determinística (los nodos se instalan manualmente y se les configuran rutas estáticas) [13], ubicando en el centro del campo el nodo sink, después los NC son ubicados alrededor del NS dentro de su cobertura y por último los NM conectados a los NC. Las configuraciones de los parámetros utilizados en la simulación se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de la configuración.

Parámetros	Valores
Tiempo de la simulación	1000s
Tasa de paquetes	10
Radio	CC2420
Potencia de transmisión	0dBm
Tipo de nodo	Estático
Protocolo de Enrutamiento	Enrutamiento estático
Protocolo MAC	TMAC

El modelo de colisión utilizado está basado en incrementar el impacto de varias señales de entrada en el nodo receptor. Dentro de la simulación se evaluaron tres valores de incidencia (1, 2 y 3) con el objetivo de identificar cuál de estos valores permite obtener un mejor desempeño del protocolo propuesto.

5. Resultados

Para evaluar los resultados obtenidos del desempeño de i-Co²Q, se hizo la comparación con protocolos existentes dentro de la literatura que consideran entornos hospitalarios, a continuación se discuten dichos resultados.

La figura 3a muestra los resultados obtenidos en relación a la cantidad de paquetes recibidos con éxito, al utilizar i-Co²Q el número total de paquetes recibidos por el nodo Sink es mayor teniendo un porcentaje por encima del 97%, en comparación con el protocolo presentado en [3] que solo cuenta con el 94% de la transmisión, también se hace una comparación al escenario donde no se aplica ningún mecanismo de QoS incrementando el tráfico obteniendo valores que no sobrepasan 83.69% descartando paquetes debido al tiempo de espera. Se puede observar que i-Co²Q mejora el rendimiento en más de 15% con respecto a los otros protocolos, incrementando la probabilidad de éxito en la entrega total de paquetes.

La figura 3b, muestra los resultados obtenidos por la métrica de paquetes perdidos. El promedio total de pérdida de paquetes de los NC al utilizar i-Co²Q es de 4%, 2% y 3% para las incidencias 1, 2 y 3, en comparación con el protocolo [14] que alcanzan hasta el 10% de paquetes perdidos, transmitidos por nodo ya que cuenta con un tiempo

de espera mayor. Por otro lado cuando no se utiliza QoS el promedio se eleva a un 57% de paquetes perdidos conforme se incrementa la transmisión siendo un porcentaje crítico hablando en cuestiones de aplicaciones médicas, con lo cual se observa que i-Co²Q mejora el rendimiento en alrededor de un 92%.

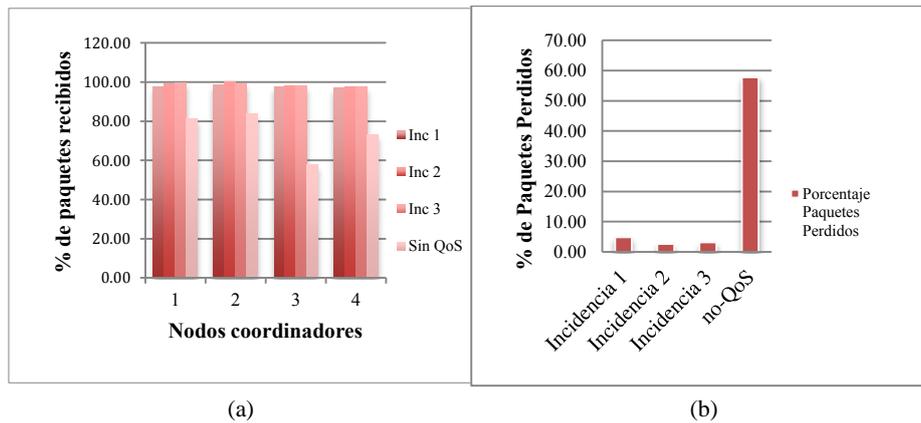


Fig. 3. Gráficas comparativas con diferentes métricas y diferentes incidencias a) paquetes recibidos por el sink, b) paquetes perdidos.

Finalmente la figura 4 muestra que i-Co²Q consume alrededor del 1% más de energía con respecto a no-QoS. En este porcentaje se debe considerar la transmisión exitosa de paquetes y la equidad en el uso de los recursos (fig. 3a) con respecto al consumo de energía por nodo. En el caso de i-Co²Q es equivalente el consumo de energía a la oportunidad que tiene cada nodo de transmitir sus datos, en comparación con no-QoS que muestra un decremento en la transmisión de datos del nodo 1 al 5.

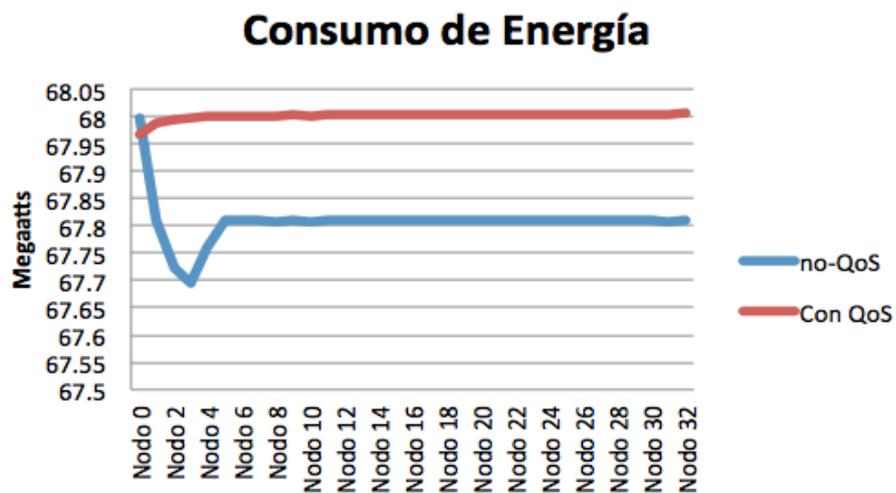


Fig. 4. Consumo de energía.

6. Conclusiones

Si se desea realizar un monitoreo de pacientes en tiempo real de forma eficiente, es necesario implementar protocolos que soporten calidad de servicio para mejorar la eficiencia de transmisión de información heterogéneas dentro de una red WBAN, además de diferenciar los distintos flujos de información y la prioridad de datos.

En este trabajo de investigación se presentó i-Co²Q un protocolo inteligente para el control de la congestión haciendo uso de sistema de colas que permita mejorar la eficiencia de la transmisión de los datos heterogéneos con una calidad de servicio en la red.

Los resultados obtenidos nos permiten observar que i-Co²Q es capaz de controlar de forma inteligente la congestión en la red brindando una alta calidad de servicio en redes WBAN.

Referencias

1. Campaña, B.S., Londoño, P.J.: Estudio de Redes de Sensores y Aplicaciones Orientadas a la Recolección y Análisis de Señales Biomédicas. Colombia (2013)
2. Cervantes, A., Hipólito, J.I., Sánchez, J.D., Martínez, M.E., Calvo, A.: Arquitectura de e-Salud basada en redes inalámbricas de sensores (2012)
3. Khan, Z., Sivakumar, S., Phillips, W., Robertson, B.: QPRD: QoS-aware Peering Routing Protocol for Delay Sensitive Data in Hospital Body Area Network Communication, Internetworking Program. Dalhousie University, Canada Saint Mary's University, Canada (2012)
4. León, S.I; Juárez, D.A.: Redes de área corporal en el cuidado de la salud. México, D.F. (2012)
5. Berrahal, S., Boudriga, N.: A Smart QoS- based Traffic Management for WBANs, Communication Networks and Security Research Laboratory. University of Carthage, Tunisia (2014)
6. Buenrostro-Mariscal, R., Nieto-Hipólito, J.I., Cosío-León, M., Yazquez-Briseno, M., Sánchez-López, J.D.: Consideraciones para el Control de congestión en redes inalámbricas de sensores utilizando la optimización crosslayer. *Research in Computing Science* 59, pp. 219–230 (2012)
7. Iyer, Y.G., Gandham, S., Venkatesan, S.: STCP: a generic transport layer protocol for wireless sensor networks. In 14th International Conference on Computer Communications and Networks, ICCCN, pp. 449–454 (2005)
8. Shaikh, F.K., Khelil, A., Ali, A., Suri, N.: TRCCIT: Tunable reliability with congestion control for information transport in wireless sensor networks. In The 5th Annual ICST Wireless Internet Conference (WICON), pp. 1–9 (2010)
9. Wan, C.Y., Eisenman, S.B., Campbell, A.T.: CODA: congestion detection and avoidance in sensor networks. In Proceedings of the 1st International conference on Embedded networked sensor systems, SenSys'03, pp. 266–279, New York, NY, USA, ACM (2003)
10. Giancoli, E., Jabour, F., Pedroza, A.: CTCP: reliable transport control protocol for sensor networks. In International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, ISSNIP, pp. 493–498 (2008)
11. Castalia. Castalia User Manual. <http://castalia.research.nicta.com.au/pdfs/Castalia%20-%20User%20Manual.pdf> (2011)
12. Varga Andrés. OMNeT++. <https://omnetpp.org/>
13. Hidalgo, R., Moreno, J.I.: Routing Design in Wireless Sensor Networks and a Solution for Healthcare Environments, *IEEE Latin America Transactions* (2011)

i-Co2Q: protocolo inteligente para el control de la congestión consciente de la QoS...

14. Razzaque, A., Hong, C.S., Lee, S.: Data-centric Multiobjective QoS-aware Routing Protocol for Body Sensor Networks. *Sensors*, vol. 11, No. 1, pp. 917–937 (2011)

Evaluación de un sistema de apoyo para el diagnóstico de Sigatoka Negra

Jesús Cuevas-Gutiérrez, Carlos Flores-Cortés, Juan Antonio Guerrero Ibáñez

Universidad de Colima, Facultad de Telemática, Colima,
México

{jcuevas7, cfcortes, antonio_guerrero}@ucol.mx

Resumen. El control de la Sigatoka negra se basa en el uso continuo de fungicidas y prácticas de cultivo. Para combatir la enfermedad es importante monitorear periódicamente la plantación para conocer el comportamiento de la enfermedad y obtener información que auxilie en la toma de decisiones. Sin embargo, no en todas las plantaciones se cuenta con personal capacitado que pueda realizar los muestreos, por lo que se aplican fungicidas de manera preestablecida por no contar con información precisa. Por lo tanto, en este trabajo se presenta el diseño, desarrollo y evaluación de un software, el cual ayuda a realizar muestreos de Sigatoka negra a cualquier persona, aunque ésta no tenga conocimientos sobre las características y síntomas de la enfermedad, para así conocer el estado fitosanitario de la huerta. El sistema fue evaluado a través de pruebas de usabilidad y de precisión.

Palabras clave: Sigatoka negra, sistemas de muestreo, aplicaciones móviles.

1. Introducción

En México, existen más de 77,000 hectáreas dedicadas al cultivo de bananos y plátanos. En la actualidad, la enfermedad conocida como Sigatoka negra es el principal problema fitosanitario que afecta la producción de este frutal en nuestro país. Esta enfermedad es causada por un hongo y representa una seria amenaza para la industria bananera, ya que es altamente destructiva y afecta las principales variedades de bananos y plátanos [1].

El control de la Sigatoka negra es obligatorio para obtener una producción de valor comercial aceptable. Esto eleva los costos de producción y por ende los pequeños productores se ven afectados a tal magnitud que en ocasiones cambian de rubro. Los productores comerciales han logrado disminuir la evolución de la Sigatoka negra aplicando controles basados en tratamientos químicos y prácticas culturales en paralelo, como el control de malezas, eliminación de las hojas secas, entre otros. Pero la aplicación de controles químicos trae como consecuencia efectos de gravedad sobre el medio ambiente y riesgo de generar resistencia del hongo al fungicida [2].

Por tanto, el presente trabajo se basa en diseñar un sistema de adquisición y análisis de información en el cultivo del plátano, el cual ayude a determinar la incidencia y severidad de la Sigatoka Negra. El sistema consiste en tres módulos principales, los

cuales son: la recolección de datos a través de un dispositivo móvil, la presentación de una guía para el usuario inexperto y el procesamiento y análisis de información. El software fue evaluado a través de pruebas con usuarios para conocer su usabilidad y confiabilidad.

2. Trabajos relacionados

Dentro de los trabajos que se han hecho con la intención de facilitar la medición y vigilancia de la Sigatoka negra, se puede destacar el esfuerzo de Vargas [3] por crear un sistema que apoye esta labor basado en tecnología computacional tradicional e incluyendo un PDA (Personal Digital Assistant, por sus siglas en inglés). Se utilizó para este caso la técnica de Stover modificada por Gauhl [4] y el sistema consistía en anotar en un PDA la información del muestreo de una manera muy tradicional, es decir, solo rellenando campos para posteriormente pasarlos a una PC de escritorio para su almacenaje.

Otro trabajo importante es el que realizaron Freitez et al. [5], quienes desarrollaron un modelo predictivo del brote de esta enfermedad para las plantaciones de plátano al sur de Maracaibo, a fin de decidir el momento más oportuno de efectuar la aplicación de fungicidas. A tal fin se elaboraron modelos que tratan de relacionar indicadores biológicos de ocurrencia de la enfermedad con datos meteorológicos.

Otro proyecto realizado es el de Jiménez et al. [6] que consiste en el desarrollo de un sistema capaz de seguir el comportamiento espacial y temporal de algunas enfermedades del durazno usando las tecnologías de agricultura de precisión. Este sistema emplea una red inalámbrica de sensores para monitorizar el clima y trampas para insectos, un sistema de adquisición de datos basado en PDA y un sistema de procesamiento y visualización.

3. Estudio del problema

En las plantaciones comerciales de banano se requiere de un manejo eficiente de Sigatoka negra, para lo cual es necesario contar con información que permita tener una idea clara y precisa del estado fitosanitario del huerto con el propósito de prevenir daños severos al cultivo y aplicar eficientemente el uso de fungicidas.

Para realizar este control se debe contar con personal calificado que conozca los métodos y esté familiarizado con la enfermedad. Sin embargo, para pequeños y medianos productores no les resulta conveniente contratar a técnicos o ingenieros agrónomos de tiempo completo, por lo que se contratan ocasionalmente y esto provoca hacer muestreos en periodos de tiempo muy irregulares, por lo tanto no se cuenta con información precisa para hacer las aplicaciones de agroquímicos.

Finalmente, las aplicaciones se hacen en forma general, sin precisar si se amerita y si la enfermedad está avanzando o no. Este tipo de decisiones, es la causa de los altos costos por su control, la ineficiencia de los productos químicos utilizados y por consiguiente de la contaminación ambiental.

4. Sistema para el diagnóstico de Sigatoka Negra

4.1. Arquitectura del sistema

El sistema desarrollado consiste en una aplicación (app) móvil que permite realizar muestreos de la Sigatoka negra utilizando como base el método de Stover modificado por Gauhl. La principal característica que contiene, es que cualquier persona sin conocimientos en la aplicación del método y de la propia enfermedad pueda realizar un diagnóstico. Esto con el fin de optimizar los tiempos en la realización del muestreo y en la presentación de la información acerca de la incidencia y severidad de la Sigatoka negra. Con lo anterior se podrá contar oportunamente con información fiable acerca del estado fitosanitario de la plantación.

En la Fig. 1 se puede apreciar el diagrama general de la arquitectura de nuestro sistema, que es la propuesta desarrollada para cubrir las necesidades detectadas.

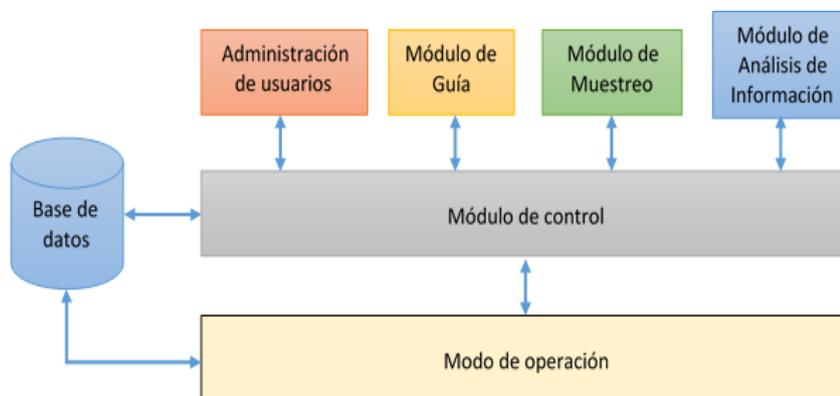


Fig. 1. Arquitectura general del sistema.

4.2. Módulos

El software que se desarrolló cuenta con tres principales módulos, más uno de control, el cual es el encargado de todo lo relacionado con la comunicación y procesamiento de la información entre los demás módulos. En conjunto estos elementos ayudan al usuario a realizar los muestreos y obtener la información acerca de la incidencia y severidad de la Sigatoka negra. A continuación se describen cada uno de ellos:

Guía. Este módulo ayuda al usuario a base de imágenes e información puntual a identificar la sintomatología de la Sigatoka negra y a cómo realizar el muestreo. Otra función de la guía es que se puede iniciar un test sobre las características de la enfermedad y de la metodología, el cual le muestra al usuario el nivel de aprendizaje y decide si se muestran las sugerencias cuando se esté realizando un muestreo.

Muestreo. En este módulo es donde se realiza el muestreo de Sigatoka negra. Primero se solicitan las hectáreas y tablas en las que está dividida la huerta, para que a partir de esto la aplicación determine el número de plantas a ser analizadas. Posteriormente, el software va solicitando la información requerida de acuerdo a seis

pasos que se definieron tomando como base el método de Stover modificado por Gauhl. Esto se repite para cada planta y se lleva el registro automático de las plantas que ya han sido analizadas y las que faltan para completar el muestreo.

Análisis de información. En este módulo se calculan de forma transparente al usuario diversos datos que nos ayudan a conocer la situación fitosanitaria de la huerta. Presenta informes sobre: promedio ponderado de infección, porcentajes por grados de infección, promedios de parámetros fitopatológicos y progreso de la enfermedad en la plantación.

4.3. Modos de operación

El software cuenta con dos modos de operación de acuerdo al nivel de conocimiento que presente el usuario. Primeramente se realiza un test donde se le pide al usuario que conteste algunas preguntas acerca de la sintomatología de la enfermedad y también acerca de la manera en cómo se realiza un muestreo con la metodología de Stover modificado por Gauhl. A partir del resultado, se indica en qué modo es conveniente que el usuario utilice la aplicación.

El primer modo de operación es el nivel básico, este consiste en que al momento de estar realizando el muestreo, la aplicación va mostrando la guía con los pasos que se deben seguir, puesto que el usuario todavía no se encuentra familiarizado con ellos. De esta manera el usuario no tiene que regresar a la opción de guía, buscar el paso en el que se encuentra en ese momento y ver la descripción de lo que tiene que hacer. Con esto se logra tener una mayor fluidez al momento de realizar los muestreos.

El segundo modo de operación es el nivel avanzado, este consiste en realizar el muestreo sin mostrar la guía y solo se piden los datos necesarios de acuerdo a la metodología para determinar el Promedio Ponderado de Infección (PPI). Este modo resulta más cómodo que el anterior para los usuarios que ya tienen conocimientos previos del método. Una vez que un usuario se familiarice con la metodología, puede cambiar del nivel básico al avanzado.

5. Evaluación y resultados

En esta sección se presentan las evaluaciones realizadas al sistema de adquisición y análisis de información para el diagnóstico de Sigatoka negra y que nos ayudaron a definir la usabilidad y confiabilidad del mismo.

5.1. Pruebas de usabilidad

De acuerdo a Nielsen [7] el número de participantes que son necesarios para detectar el 100% de los problemas más importantes de usabilidad de un diseño se encuentra en torno a 15. Sin embargo, este autor recomienda que en vez de hacer una prueba con 15 participantes, es mejor llevar a cabo tres pruebas con 5 participantes por cada una, repartidas en diferentes momentos del proceso de desarrollo. Por lo tanto, en esta investigación el universo de personas que participaron en la evaluación son 5, y se

presentan los resultados de la última prueba, ya que las primeras dos fueron utilizadas como fases preliminares para ir mejorando la solución de diseño.

Es necesario señalar que ninguno de los usuarios había realizado la prueba de usabilidad de nuestro sistema. Del total de los usuarios, el 100% no ha utilizado este tipo de software para la realización de un muestreo de la enfermedad, por lo tanto no tienen una opinión previa ni prejuicios acerca de éste.

Se aplicaron los siguientes instrumentos de evaluación: 1.- Cuestionario pre-prueba para conocer acerca de la experiencia que tienen los usuarios en el tema, 2.- Escala de la Usabilidad del Sistema (SUS: System Usability Scale), 3.- Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM: Technology Acceptance Model) y una 4.- entrevista final para recabar los comentarios generales de los usuarios.

Instrumento de evaluación TAM. Para medir la aceptación del sistema desarrollado se utilizó el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM). El propósito del TAM es explicar las causas de la aceptación de la tecnología por parte del usuario. Tomando en cuenta las respuestas “de acuerdo”, “muy de acuerdo” y “totalmente de acuerdo” los resultados que arrojaron las pruebas TAM son los siguientes:

Respecto a la percepción de facilidad de uso: el 100% de los usuarios consideró que el sistema es sencillo de usar, el 100% creyó que es fácil de aprender, el 100% consideró que es claro y entendible y el 100% consideró que sería fácil encontrar información.

Con respecto a la percepción de utilidad: el 100% consideró que el sistema mejorará su eficiencia, el 100% creyó que mejorará su desempeño, también el 100% consideró que mejorará su productividad y el 100% encontró el sistema muy útil.

Respecto a la actitud hacia el uso del software: un 100% mencionó que no le disgustaba, el 100% mostró una actitud favorable, el 100% creyó que el sistema era una buena idea y también el 100% creyó que no era una idea tonta.

Finalmente, el 100% de los usuarios tiene intención de usar el sistema, también el 100% mencionó que lo volvería a usar y el 100% expresó que utilizaría el sistema para realizar los muestreos de Sigatoka negra.

Instrumento de evaluación SUS. La Escala de la Usabilidad del Sistema ha demostrado ser una herramienta simple y fiable que se correlaciona bien con las métricas de usabilidad. Su propósito es el de proporcionar un cuestionario de usabilidad fácil de completar y calificar, además permite establecer comparaciones cruzadas entre productos. De cada cuestionario SUS se obtiene una calificación en una escala de 0 (nula usabilidad) a 100 (alta usabilidad). La evaluación dio una calificación promedio de 87 puntos.

En la Fig. 2 se puede encontrar la distribución de las frecuencias, en las cuales se puede observar que el 100% de los usuarios dieron una calificación mayor a 70 puntos, siendo un buen resultado ya que hablando de evaluaciones SUS, un valor mínimo de 70 puntos indica que el sistema tiene una usabilidad adecuada.

Evaluación con los usuarios (entrevista final y observaciones). Con los resultados obtenidos a partir de las entrevistas finales y observaciones durante las sesiones de pruebas es posible identificar una serie de mejoras para el sistema ayudando a fortalecer las debilidades detectadas y con ello definir nuestras áreas de oportunidad que apoyen a alcanzar los objetivos definidos inicialmente.

Así entonces, se puede concluir que la fortaleza del sistema se encuentra en la característica intuitiva que maneja ya que es sencillo y fácil de usar, además en la

eficiencia en alcanzar los objetivos de forma cómoda para el usuario, ya que al finalizar el muestreo cuenta con toda la información necesaria para conocer el estado de la Sigatoka negra en la huerta.

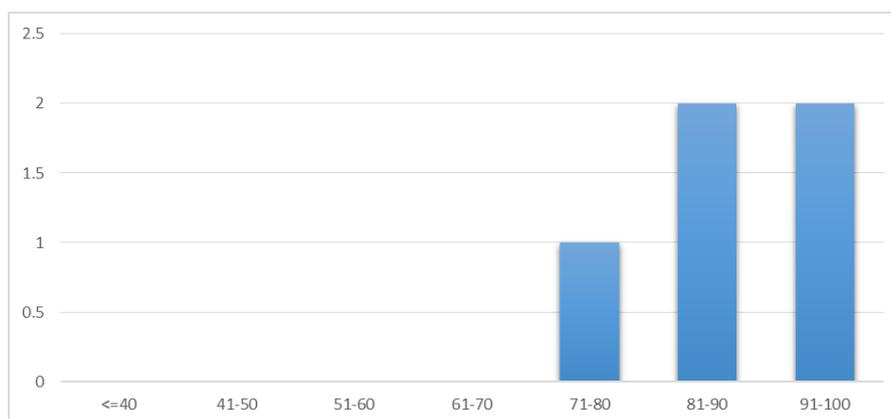


Fig. 2. Distribución de las frecuencias en los resultados de SUS.

Sin embargo, una de las debilidades identificadas fue que el sistema debería de mostrar un poco más de detalles en la identificación de los grados de pizca y estría de la Sigatoka negra, puesto que esto podría provocar que existan diferencias de apreciación en los pasos donde se tiene que indicar las hojas más jóvenes con pizca y estría.

5.2. Evaluación en la precisión de resultados

Para la evaluación se consideraron a cinco usuarios inexpertos en Sigatoka negra para que hicieran un muestreo completo utilizando nuestro sistema, y comparar los resultados con el muestreo realizado por un técnico especialista en dicha enfermedad, para esto se contabilizaron los errores y se sacaron los porcentajes correspondientes. Se compararon las siguientes métricas: tiempo en realizar el muestreo, tiempo en mostrar resultados y precisión en los resultados para los pasos del muestreo.

La primera métrica analizada es el tiempo en realizar el muestreo, donde el técnico realizó la actividad en 27 minutos y los usuarios en promedio tardaron 32.6 minutos, esto debido a que el técnico ya cuenta con experiencia en la identificación de los síntomas de la Sigatoka negra, sin embargo, una vez que los usuarios se vayan familiarizando con éstos el tiempo podrá reducirse, ya que lo que se observó durante el muestreo fue que se detenían un poco en identificar las pizcas y estrías por no conocer bien sus características y no por el uso del software.

Para la métrica de tiempo en mostrar los resultados, el técnico tardó 11 minutos en calcular el promedio ponderado de infección, esto debido a que sólo eran 5 plantas en el muestreo realizado, pero que con mayor número de plantas se incrementaría el tiempo. Por el contrario usando nuestro software inmediatamente después de haber concluido el muestreo nos muestra los resultados, y no sólo del promedio ponderado de infección, sino de los demás informes mencionados en la sección 4.2.

Para la tercera métrica, en la Fig. 3 se muestran los promedios de precisión por cada paso del muestreo realizado. Se obtuvo un 100% en el paso de la selección de plantas a analizar, puesto que todos los usuarios pudieron identificar las plantas que estaban en proceso de parición. Para el paso del conteo de hojas se obtuvo un 92%, esto debido a que algunas plantas estaban muy cercanas y se traslapaban las hojas.

Para el paso en la determinación de la hoja más joven con pizca se obtuvo un 84% y para la estría un 88%, esto fue debido a que existen diferentes lesiones de las hojas que pudieran parecer Sigatoka negra pero no lo son, así que los usuarios pudieron haber confundido esto.

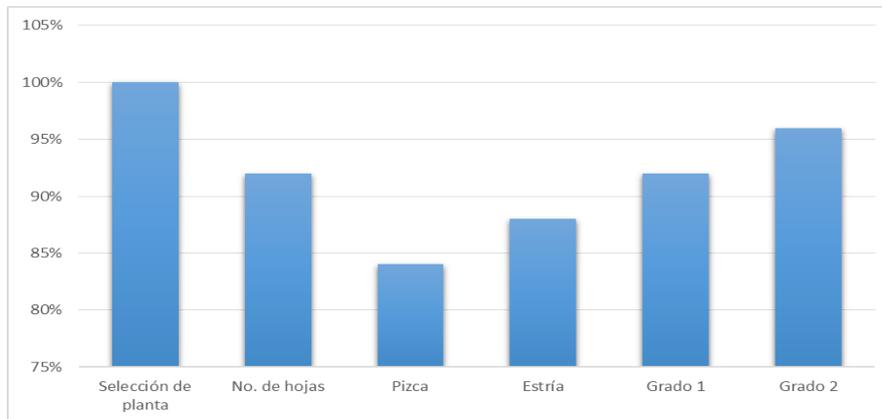


Fig. 3. Promedios de precisión por paso de muestreo.

Para la determinación de los grados de quema, se obtuvo un 92% para el grado uno y un 96% para el grado dos. Los grados del tres al seis no se presentaron durante el muestreo realizado. Por último mencionar que aunque en los resultados obtenidos hubo algunas diferencias en la precisión, estas fueron mínimas puesto que sólo varían un poco en los promedios de las hojas más jóvenes con pizca y estría, pero no en la determinación del promedio ponderado de infección, el cual es el indicativo general para conocer el estado fitosanitario de la huerta.

6. Conclusiones y trabajos futuros

Éste trabajo presentó el desarrollo y evaluación de un sistema de adquisición y análisis de información para el diagnóstico de Sigatoka negra.

El software desarrollado permitió realizar un muestreo completo de Sigatoka negra a personas que no conocían el método, ni las características específicas de la enfermedad y sin necesidad de contar con la ayuda de un técnico especialista o ingeniero agrónomo.

La usabilidad que presentó el software a través de las pruebas fue muy buena, ya que se obtuvieron 87 puntos, de donde a partir de 70 ya se considera conveniente. Esto se pudo notar también a la hora de realizar los muestreos, ya que los usuarios se expresaron bien y no tuvieron complicaciones para concluir con el mismo.

El software desarrollado cumplió de forma eficiente en cuanto a la precisión de las métricas analizadas, ya que las variaciones que se obtuvieron no fueron factor determinante para que el promedio ponderado de infección resultara diferente en comparación con los resultados de un técnico especialista, por lo tanto se puede decir que el software es confiable.

Como trabajos futuros, se recomienda realizar un seguimiento a los usuarios con los que se realizaron las pruebas, para conocer el avance que les pudiera generar el continuo uso del software en el conocimiento de las características de la Sigatoka negra. También se pretende añadir más funciones al sistema, en específico que pueda generar sugerencias sobre productos químicos que se deben aplicar para controlar la enfermedad de acuerdo a las características que se estén presentando en el momento de los muestreos.

Referencias

1. Orozco-Santos, M., García-Mariscal, K., Manzo-Sánchez, G., Guzmán-González, S., Martínez-Bolaños, L., Beltrán-García, M., Garrido-Ramírez, E., Torres-Amezcuca, J.A., Canto-Canché, B.: La sigatoka negra y su manejo integrado en banano. Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA, INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México, p. 152 (2013)
2. Orozco-Santos, M., Orozco-Romero, J., Pérez-Zamora, O., Manzo Sánchez, G., Farías-Larios, J., da Silva Moraes, W.: Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology*, Vol. 33, No. 3, pp. 189–196 (2008)
3. Vargas, E.: Monitoreo asistido de plantaciones agrícolas: Técnicas de procesamiento digital de imágenes e inteligencia artificial para diagnosticar y controlar la incidencia de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet) en plantaciones de banano (*Musa* spp. cv. AAA) y plátano curraré (*Musa* spp. cv. AAB). Instituto Tecnológico de Costa Rica (2008)
4. Gauhl, F.: Epidemiología y Ecología de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella Fijiensis* Morelet en Plátano (*Musa* sp.), en Costa Rica). Unión de Países Exportadores de Banano (1990)
5. Freitez, J., Ablan, M., Gómez, C.: Propuesta de modelos predictivos del brote de la sigatoka negra para las plantaciones de plátano al sur del lago de Maracaibo. *Revista UDO Agrícola* Vol. 9, No. 1, pp. 191–198 (2009)
6. Jimenez, A., Ravelo, D., Gómez, J.: Sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de información fenológica para el manejo de plagas y enfermedades de un duraznero mediante tecnologías de agricultura de precisión. *Revista Tecnura*, Vol. 14, No. 27, pp. 41–51 (2010)
7. Nielsen, J.: Why You Only Need to Test with 5 users. <http://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>

User Experience Evaluation to El Encanto: a Serious Game for Learning Community Intervention

Pedro C. Santana-Mancilla¹, Miguel A. Rodríguez-Ortiz¹,
Laura S. Gaytán-Lugo², Miguel A. Garcia-Ruiz³

¹ University of Colima, School of Telematics,
Mexico

² University of Colima, School of Mechanical and Electrical Engineering,
Mexico

³ Algoma University, Dept. of Mathematics and Computer Science,
Canada

{psantana, maro, laura}@ucol.mx, miguel.garcia@algonau.ca

Abstract. Social work students are trained to learn social interventions in order to promote social change, problem solving in human relationships and the empowerment and liberation of people to enhance well-being. In Mexico, these actions are held throughout the country. However, because different reasons such cost, distance, or for something more worrying as security, technologies for social and mental health purposes have been emerging to support the learning process of community interventions, one of this technologies are serious games. This paper presents the design and user experience evaluation of a serious game intended to support undergrad students on the learning of community interventions on social work curricula. The usability evaluation of this serious game presented favorable results from the users: they felt the game efficient, easy and immersive, which is important for both educational and fun purposes.

Keywords: Serious games, social work, training, higher education, usability.

1 Introduction

The evolution of video games changed the way people communicate, collaborate and work. A growing number of researchers, academics and scholars [1-5] recognize the cultural impact of video games. For [6] games are more than technologies, he explains that video games are also indicative of broader technological and cultural shifts that have consequences for educational technologists.

The design of serious games in education can provide valuable assistance for generate competences without cost or danger to the students. Such, is the case for community intervention skills for students of social work and psychology, because to generate such competences, they have to travel to distant communities and learn to identify social problems. They can suffer due to the insecurity situation in Mexico [7]; in addition to how difficult it is to reach some communities by the nature of the terrain.

This paper presents the usability evaluation of a serious game to facilitate the acquisition of skills in community intervention for students of the University of Colima, this as support and technical training prior to field work in rural communities.

2 Background

The term of serious games is referred to the ones that are used for training, publicity, simulation or education and they are designed to be executed in computers. Serious games allow the student to simulate and experiment with situations that are impossible or difficult in the real world for different reasons, such as security, cost or time [8]. Different to traditional video games, serious games use pedagogy to infuse instruction into the game play experience and they are by nature suited to engage the learner and encourage active construction of meaning and development of skills [9]. Zyda in [10] explains that a serious game is a mental contest which is executed on a computer and contained specific rules and uses entertainment to further government or corporate training, education, health, public policy, and strategic communication objectives.

Nowadays, serious games are receiving interest from researchers and industry because of the advantages that in education and formation present [11, 12]. Besides, according to some researches [13, 14] consider serious games motivating and attractive, as long as the characteristics that make them convincing are incorporated. In fact, they even found that these types of games are extremely engaging and when they incorporate features that have an extremely compelling, they can be even addictive.

2.1 Serious Games and Education

An increasingly diverse student population, with different backgrounds and abilities, has contributed to a rethink about effective ways of teaching and learning, and video games offer many pedagogic benefits over traditional methods of teaching and learning [13]. Brown in [15] mentions that as the adoption of video games by the military as devices of training and recruiting, the appearance of video games in classrooms represents an important institutional credit to the new media. Squire in [3] states that video games encourage a way of learning that transcends traditional disciplinary boundaries and emphasizes integrated problem solving. Some authors such [16, 17] found that video games encourage skills related with teamwork, competence, collaboration, critical thinking and communication.

2.2 What Intervention is?

According to The International Federation of Social Work [18], the social work profession promotes social change, problem solving in human relationships and the empowerment and liberation of people to enhance well-being. In addition, intervenes at the points where people interact with their environments.

One of the definitions of intervention is that is an influencing force or act that occurs in order to modify a given state of affairs. In the context of behavioral health, an intervention may be any outside process that has the effect of modifying an individual's behavior, cognition, or emotional state [19].

In Mexico, the first early experiences for improvement and community development were through the so-called cultural missions. These actions were held throughout the country with the desire to improve the situation in rural areas, promoting community solidarity to fight poverty, ignorance and disease.

3 Design of the Game

As Grabard et al. mentioned in [20] there are two distinct domains in development of interactive systems: behavioral and constructional. In the behavioral domain, there are the tasks concerned to the user interaction with the application and the view of the user; and in tasks relatives to the software construction, the codes and systems, are under the constructional domain.

Therefore, the development process for this work is divided in two parts, all the work done under the behavioral domain, which include the techniques used to design and develop the user interface software component; and all done under the constructional domain, which involves 3D model production, Unity codes, and integration.

3.1 Methodology

It was used a variation of the user-centered methodology proposed by Gabbard et al. [20] for the design of the user interface of this game, and is based on the following:

- User task analysis.
- Summative usability evaluation.

3.2 User Task Analysis

This is the first stage in the process, in this, it is pretend to identify a complete description of tasks, subtasks and methods required to use a system in addition to have a complete understanding of the user. With this process, designers have a clear understanding of the user requirements, therefore, could design better functionality according to the user.

For this project, developers performed a user task analysis by interviewing two experts and professors in community intervention and four students involves in this activities. As result of this task analysis, developers obtained the complete information of the activities that make the professionals whom made these interventions in communities.

- Community tour: Take a tour of the virtual community, interact with characters and the environment, this tour is free and the limits are the size of the virtual scenario.
- Detect problems and characteristics: As the user makes the tour to talk to some characters, this is called unstructured interview, must pay attention to the conversation, as it may define characteristics and problems of the community, the user can also identify problems interacting with the environment.

- Identify leaders: In the route taken to the community should identify community leaders, both formal (sheriff, president) and those that the population identifies as natural or informal leaders, as priests or doctors.
- Analysis and problems categorization: Once you have identified all the problems and characteristics as well as community leaders, the user must read the document diagnostic of the community, in order to analyze and categorize the problems in order of importance.
- Support management with leaders: When the social problems of the community have been categorized, the user must manage permissions and spaces with authorities to arrange working meetings with leaders to find ways to solve community problems.
- Organize activities for resources: After completing the work meetings that led to results the activities to be performed, the user must help leaders to organize activities that allow you to obtain the financial resources needed to solve the problems of the population.
- Support to organize people: Finally, the user guides the people to make use of the financial resources obtained in favor of solving the social problems of the community.



• **Fig. 1.** El Encanto user interface.

Based in the tasks, were designed the game activities, which are divided in seven working-days in which will be activities designed to run the tasks defined above, these working-days are described below:

Work-day 1: On day introductory aid is provided to the user to use the system tools. It shows which activities to be undertaken in the area allocated for that purpose and which can access each you want.

Work-day 2: The user must go to interview the leaders, and calling them for a meeting. This call must be made through posters distributed in the community, once the meeting with leaders has done, we proceed to the ranking and mapping priority to the problems encountered.

Work-day 3: Explore the community looking for the leaders to make a second meeting to develop strategies to solve obstacle impeding the solution of the problems.

Work-day 4: Explore the community select each of the problems and assign responsibility for its solution, every mistake will cause decrease their game points.

Work-day 5: This work-day will show to the user a list of activities to be performed to generate economical resources, these recourses will be used to solve the community problems, each activity generates a different budget.

Work-day 6: Once user generates enough money, systems present the different problems, to assign each activity the appropriate percentage of the budget.

Work-day 7: This work-day will show people of the community working to fix the problems, at the end appear the problematic issues resolved and the application shows a report with errors and points earned.

Based on the tasks and work-days descriptions, we create a functional prototype of the game (see Figure 1) and a usability study was conducted to analyze how students accepted the use of the videogame and its usability.

4 Evaluation

To measure the usability and acceptance of our game a study was conducted by the IHCLab Research Group of the School of Telematics in the University of Colima (see Figure 2). According to Nielsen [21], the subjects of study were 7 people, 4 male y 3 female, 100% were undergraduate students who study intervention methods as part of their classes. 71% had previous experience playing video games, spending an average of 2 hours a day; they play on their houses, consoles or PC mainly. 100% had use videogames in order to learn some subject.



Fig. 2. Evaluation session.

4.1 Procedure

An evaluation session lasting an hour and a half, including the followings phases:

Phase 1: Students were given a 10 minutes introduction.

Phase 2: We performed a live demo showing the students the features of the computer game. The aim of this was to put in context the use of the controllers to the participants.

Phase 3: The participants were given a task list to complete on the game.

Phase 4: In this phase, the participants were asked to complete a game experience questionnaire (GEQ) with two dimensions. In addition, a final survey about acceptance of using a videogame as educational tool was applied.

5 Results and Discussion

The GEQ is divided in two dimensions: (1) four questions, where the learners had to give a grade from 1 to 10, where 10 is the most significant, and (2) seven questions that measured: efficiency, effectiveness, immersion, motivation, emotion, fluency. It had a 5 Likert scale.

5.1 First Dimension of the GEQ

The first dimension of the GEQ include the next questions:

- Q1: Did you find the game fun?
- Q2: Did you find the game exciting?
- Q3: Was it difficult to adapt to the game control?
- Q4: How easy it was to fulfil the objective of the game?

The students found (see Figure 3) the game fun and exciting, with a low difficult to adapt with the control and they believe the game was easy to fulfil its objective.

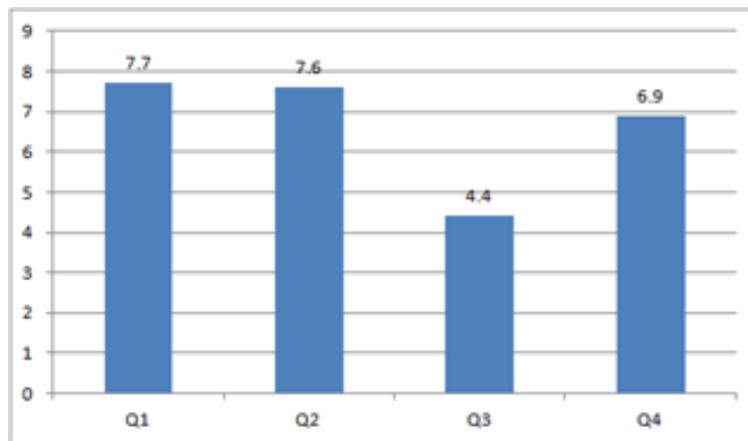


Fig. 3. Results of the GEQ first dimension.

5.2 Second Dimension of the GEQ

As mentioned, the second dimension measure seven indicators. The results of this dimension, considering the items with scores “Totally agree”, “Agree” and “Neutral”. The 100% of participants perceived the game as efficient and with good learning curve; 86% thinks the game is immersive and fluent, 71% of the user perceive good motivation for use it; and finally we found the weakness on effectiveness with the game difficulty with a 14%.

Based on these results, we found that users perceived the game efficient, fluent, immersive and easy to learn, also they have a good perception of motivation and emotion, but we got a lack of effectiveness on the game difficulty.

5.3 Final Survey

As final step, we applied a survey with two questions.

Q1. How do you feel using the game?

Q2. Do you feel motivated to use a game for learning interventions?

When we asked the Q1, the 71% of the students felt comfortable, while the rest 29% said that they felt nervous or stressed at the beginning because they do not play video games.

Finally, with regard to the Q2, we found that 100% of the students are motivated to use the game for educational purposes.

5.4 Discussion

The evaluation results showed good reviews from the users, they felt the game efficient, easy and immersive, which is important for both educational and fun purposes, even though they had some gameplay problems and some of them felt nervous or stressed of using videogames a technology unknown by them.

The Game “El Encanto” tries to help in the learning of the basic skills in community intervention, but in this work, we only evaluate the usability and the game experience therefore is important to assess whether the use of the game means significant help for learning basic skills of intervention.

6. Conclusions

There is no doubt about the importance that serious games have had during the last years. Nowadays, serious games are been used in different fields as education, health, and training, among others, not only because it is proved that they worth it, but also because every day there is more people playing with this kind of technology.

We developed a serious game that let students to get community interventions skills for social work students. This serious game allows students to learn without putting themselves in risk because they can simulate with situations that can be dangerous in real life for reasons that we mentioned before, overall in a country like Mexico, where nowadays there are a several cities, towns and communities with security problems.

The evaluation of this serious game presented favorable results, taking into account that the purposes were according not only to the students’ needs but also to the academic curricula.

Acknowledgments. The authors will like to thank the students who participated in the usability evaluation.

References

- 1 Gee, J.P.: What video games have to teach us about learning and literacy? *Computers in Entertainment*, Vol. 1, No. 1, p. 20, doi:10.1145/950566.950595 (2003)

- 2 Prensky, M.: *The Seven Games of Highly Effective People*. Microsoft Games for Windows. Retrieved from <http://www.marcprensky.com/> (2004)
- 3 Squire, K.: *Replaying history: learning world through playing Civilization II*. (Doctoral thesis, University of Indiana), Retrieved from: <http://website.education.wisc.edu/> (2004)
- 4 Puentedura, R.: *I Taught It, Bought It at the Game Store: Repurposing Commercial Games for Education*. NMC Summer Conference Proceedings (2007)
- 5 Mayo, M.J.: *Video Games: A Route to Large-Scale STEM Education?* *Science*, 323(5910), pp. 79–82, doi: 10.1126/science.1166900 (2009)
- 6 Squire, K.: *Video games and education: Designing learning systems for an interactive age*. *Educational Technology*, Retrieved from: <http://website.education.wisc.edu> (2008)
- 7 ICESI *El costo de la inseguridad en México. Seguimiento 2009*. Retrieved from: <http://www.insyde.org.mx> (November 26, 2011)
- 8 Zapašek, M., Cerar, S., Rugelj, J.: *Serious computer games as instructional technology*. MIPRO, Proceedings of the 34th International Convention (2011)
- 9 Bellotti, F., Berta, R., De Gloria, A., Primavera, L.: *Adaptive Experience Engine for Serious Games*. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, Vol. 1, No. 4, pp. 264–280, doi:10.1109/TCIAIG.2009.2035923 (2009)
- 10 Zyda, M.: *From visual simulation to virtual reality to games*. *Computer*, Vol. 38, No. 9, pp. 25–32, doi:10.1109/MC.2005.297 (2005)
- 11 Cai, Y., Miao, C., Tan, A., Shen, Z., Li, B.: *Creating an immersive game world with evolutionary fuzzy cognitive maps*. *Computer Graphics and Applications*, IEEE Vol. 30, pp. 58–70, doi: 10.1109/MCG.2009.80 (2010)
- 12 Vangsnæs, V., Gram-Økland, T., Krumskiv, R.: *Computer games in pre-school settings: Didactical challenges when commercial educational computer games are implemented in kindergartens*. *Computers&Education*, Vol. 58: pp. 1138–1148, doi:10.1016/j.compedu.2011.12.018 (2012)
- 13 Connolly, T., Stansfield, M., Boyle L.: *Games-Based Learning Advancements for Multi-Sensory Human Computer Interfaces: Techniques and Effective Practices*. Hershey, New York: IGI Global Publishing (2009)
- 14 Hainey, T., Connolly, T., Stansfield, M. Boyle, E.: *The differences in motivations of online game players and offline game players: A combined analysis of three studies at higher education level*. *Computers and Education*, 57:2197:2211, doi:10.1016/j.compedu.2011.06.001 (2011)
- 15 Brown, H.: *Videogames and education*. *History, Humanities and New Technology*: Armonk, New York: M.E. Sharpe (2008)
- 16 Baker, E.L., Mayer, R.E.: *Computer-based assessment of problem solving*. *Computers in Human Behavior*, Vol. 15, pp. 269–282 (1999)
- 17 Robertson, J., Howells, C.: *Computer game design: Opportunities for successful learning*. *Computers & Education*, Vol. 50, No. 2, pp. 559–578, doi:10.1016/j.compedu.2007.09.020 (2008)
- 18 International Federation of Social Workers: *Definition of social work*. Retrieved from: <http://ifsw.org/policies/definition-of-social-work/> (2012)
- 19 Tamas, A., Mosler, H.-J.: *SODIS Promotion – Investigating the behavior change process*. Atlanta, Georgia: Proceedings of the Water Environment Federation, pp. 355–380, doi:<http://dx.doi.org/10.2175/19386470979384827527> (2009)
- 20 Gabbard, J.L., Hix, D., Swan II, J.E.: *User-Centered Design and Evaluation of Virtual Environments*. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 51-59 (1999)
- 21 Nielsen, J.: *Why You Only Need to Test with 5 Users*. *Test Alertbox*, Retrieved from <http://www.useit.com/alertbox/20000319.html> (2000)

Flujo de conocimiento para la localización del expertise en el desarrollo de software: implicaciones de diseño

José Ramón Martínez García¹, Ramón Rene Palacio Cinco²,
Luis-Felipe Rodríguez¹, Oscar M. Rodríguez-Elias³

¹ Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Nainari,
Sonora, México

² Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Navojoa,
Sonora, México

³ Instituto Tecnológico de Hermosillo,
Sonora, México

joseramonmg26@gmail.com, {luis.rodriguez, ramon.palacio}@itson.edu.mx,
omrodriguez@ith.mx

Resumen: El presente trabajo aborda el tema de la búsqueda de expertise en el desarrollo de software, donde se tiene como objetivo obtener información para la creación de un mapa del conocimiento, el cual facilite la identificación de los elementos de información, cómo los desarrolladores buscan el expertise en su organización, y cuáles son los obstáculos a los que se enfrentan. Para lograr dicho objetivo se utilizó la metodología KoFI para identificar las fuentes, el flujo de conocimiento y los obstáculos que se presentan en la búsqueda de expertise. Para dar una solución a estos obstáculos, se proponen mecanismos que permiten gestionar el conocimiento en organizaciones de desarrollo de software de tal forma que se tenga acceso a dicho conocimiento respecto a la información de disponibilidad de los proveedores del expertise. Como resultado se obtuvieron las implicaciones de diseño para construir una herramienta que permita la búsqueda de expertise.

Palabras clave: Búsqueda de expertise, gestión del conocimiento, desarrollo de software.

1. Introducción

El entorno actual de las organizaciones se caracteriza por el cambio continuo y la evolución en cuanto a las prácticas y tecnologías utilizadas. Las acciones deben ser anticipadas y adaptativas, basadas en un ciclo rápido de creación de conocimiento. De ahí la necesidad de un proceso de negocio que formalice la gestión y aseguramiento de los activos intelectuales [1, 2]. Es por ello que se han hecho esfuerzos por tener una adecuada gestión del conocimiento, la cual es ampliamente conocida y practicada por grandes organizaciones, como una herramienta útil para que cada uno de los miembros de la empresa sepa lo que otros conocen para mejorar los resultados de sus actividades. De manera que si las organizaciones pueden manejar el proceso de aprendizaje,

podrían ser más eficientes [3]. Este tipo de gestión se compone de una serie de prácticas que permiten identificar, crear, representar y distribuir el conocimiento para su reutilización, distribución y aprendizaje. Por ello existe un gran interés en el tratamiento de conocimiento como un recurso significativo en las organizaciones, enfocándose en los conocimientos humanos, y cómo explotarlos para tener el máximo rendimiento en la organización [4].

El creciente interés por el conocimiento y la gestión del conocimiento organizacional se deriva de la transición a la economía del conocimiento, donde el conocimiento es visto como la principal fuente de creación de valor y ventaja competitiva sostenible [5, 6]. Por tal motivo, la gestión del conocimiento tiene como meta mitigar la pérdida y el riesgo en los procesos de producción de la organización, mejorar la eficiencia de la organización e innovar. Esto añade un gran valor a las organizaciones, de manera que se pueden tomar mejores decisiones, tener un flujo libre de ideas que llevan al conocimiento e innovación, eliminar los procesos redundantes, mejorar el servicio al cliente y la eficiencia conduciendo a una gran productividad.

La gestión del conocimiento ha beneficiado a diferentes áreas, tales como de educación [7, 8], cuidado de la salud [9, 10], desarrollo de software [11, 12], entre otras. Particularmente en la industria del software se han abordado los retos de adaptación del conocimiento a las tecnologías emergentes (p. ej. cuando los desarrolladores utilizan una tecnología que no es familiar para los miembros del equipo, ellos utilizan la técnica de “aprender sobre la marcha”, lo que muchas veces resulta en retrasos), acceso al dominio del conocimiento (p. ej. cuando una organización debe adquirir dominio de conocimientos nuevos, ya sea por formación o mediante la contratación de empleados con conocimientos y difundirla por todo el equipo), intercambio del conocimiento sobre las políticas y prácticas locales (p. ej. cuando los desarrolladores suelen difundir el conocimiento a través de reuniones informales, de manera que, no todo el mundo tiene acceso al conocimiento que necesita), capturar el conocimiento y saber qué es lo que sabe cada uno (p. ej. cuando algún desarrollador con conocimiento crítico deja la organización, crea huecos de conocimiento que ninguno se da cuenta hasta que es necesario dicho conocimiento) y colaboración e intercambio de conocimiento (p. ej. cuando los miembros de un equipo a menudo están distribuidos geográficamente con diferentes zonas horarias y deben interactuar para intercambiar o transferir información) [13].

El desarrollo de software se caracteriza por ser una actividad intelectual compleja que requiere de la interacción constante con los colaboradores de la organización. Así mismo, el desarrollo de software es considerado un proceso de constante cambio, donde muchas personas trabajan en diferentes fases, actividades y proyectos. Tales características producen los siguientes inconvenientes [13]: i) Re-trabajo: Se refiere a cuando un desarrollador trabaja sobre un artefacto que otro ya había realizado anteriormente para otro proyecto, y pudo haberse reutilizado, reduciendo así el tiempo para realizar dicha actividad. ii) Fracaso en las Consultas: Se refiere a cuando un usuario busca una solución a cierto problema en el código, y tiene dificultades para encontrar una solución en algún foro de programadores en línea, manuales o video tutoriales. iii) Asesoría Inadecuada: Se refiere a cuando se recibe consultoría de varias personas para solucionar un problema de código o de una actividad, y ninguna puede dar una solución adecuada al problema.

Este tipo de inconvenientes traen como consecuencia problemas de producción (p. ej. generan costos debido a los retrasos en las actividades), comunicación (p. ej. es afectada por los retrasos generando desconfianza entre los miembros del equipo), retrasos (p. ej. ocurren cuando un desarrollador depende del artefacto de un colega para poder iniciar con su actividad), clarificación (p. ej. cuando la comunicación se ve afectada por la coordinación produce retrasos) [14, 15].

Una las maneras de abordar lo anterior es mediante la localización de expertos, puesto que se pretende encontrar personas con ciertas habilidades que pudieran ayudar a un colega a solucionar algún problema en particular que no le permite avanzar en su trabajo. En el caso de los desarrolladores de software, cuando tienen dificultad para realizar alguna actividad, suelen ir en busca de conocimiento, donde la meta es encontrar el expertise (conocimiento de mejor). Es decir, quien posee experiencia es capaz de realizar una tarea mucho mejor que los que no la tienen. Se trata de un conocimiento específico en su mejor momento. Cabe mencionar que la palabra "experto" puede ser usado para describir a las personas que poseen altos niveles de habilidades o conocimientos [16]. Por lo anterior, se definen las siguientes preguntas de investigación que guían este artículo:

- ¿Cuáles son las fuentes de conocimiento en el desarrollo de software?
- ¿Cuáles son los elementos de información clave para identificar a un experto y el expertise?
- ¿De qué manera está representada la información?
- ¿Cuáles son las barreras que impiden el flujo de la información?

Para responder estas preguntas se analizó el flujo del conocimiento para la búsqueda de expertise en el desarrollo de software, por lo que el objetivo de este artículo es obtener información para la creación de un mapa del conocimiento, el cual facilite la identificación de los elementos de información, cómo los desarrolladores buscan el expertise en su organización, y cuáles son los obstáculos a los que se enfrentan. Los resultados obtenidos en este trabajo son los mecanismos para dar soporte a la búsqueda de expertise dentro de las actividades del desarrollo de software.

2. Flujo del conocimiento para la búsqueda de expertise en el desarrollo de software

La metodología para identificar el flujo de conocimiento para la búsqueda de expertise fue KoFI (Knowledge Flow Identification) [17, 18], la cual consta de cuatro fases. La Fase 1 consiste en la identificación de las diferentes fuentes en las que se genera o almacena el conocimiento; La Fase 2 permite identificar los tipos de conocimiento utilizados y generados en los procesos principales de la organización, mientras que la Fase 3 identifica cómo fluye el conocimiento dentro de la organización. Por último, la Fase 4 consiste en la identificación de los principales problemas que obstaculizan el flujo de este conocimiento. Para esto, se realizó un estudio con desarrolladores de software de varias organizaciones, con diferentes tipos de prácticas de desarrollo (centralizado, distribuido y global). La característica común de estas organizaciones es que su proceso de producción está basado en metodologías ágiles. Participaron ocho trabajadores, incluyendo dos líderes de proyecto, cuatro

desarrolladores y dos ingenieros en software. Para obtener la información de los participantes se utilizó la técnica de la entrevista semi-estructurada. La entrevista consistía en preguntas de temas relacionados a colaboración, coordinación, intercambio de conocimiento y la administración de los proyectos.

El propósito de las entrevistas fue entender cómo se realiza el proceso de búsqueda de expertise entre los miembros de los equipos de desarrollo de software. Se llevaron a cabo 8 entrevistas de forma individual y se guardó en formato de audio. La duración de las entrevistas fue de 40 minutos en promedio. Los datos fueron extraídos de las entrevistas usando diagramas de afinidad, que es una herramienta que sintetiza un conjunto de datos verbales (p. ej. ideas, opiniones, expresiones) agrupándolos en función de la relación que tienen entre sí [19]. Este proceso se inició con la transcripción de las entrevistas para encontrar los datos clave de las respuestas de los participantes. A partir de eso se clasificaron los datos de las respuestas que aparecían más recurrentemente. Posteriormente continuamos con el análisis de los datos para identificar las relaciones entre los procesos de búsqueda de expertise. Por último, a partir del diagrama de afinidad y las categorías definidas se obtuvieron conclusiones. Con la información recopilada, en los siguientes apartados se presentan los resultados obtenidos.

2.1. Fase 1: Identificando las fuentes del conocimiento

En esta fase fue necesario tener en cuenta las fuentes de conocimiento que podrían ser utilizadas para localizar a un experto para dar solución a un problema dentro de una actividad. Los tipos de fuentes encontrados a partir de las entrevistas fueron libros, manuales, blogs, código reutilizado y consulta con compañeros o expertos externos. Esta información coincide con las categorías que propone [20], las cuales son:

- **Personas:** El conocimiento se almacena en las personas ya sea a nivel individual o dentro de un grupo o un conjunto de personas.
- **Artefactos:** El conocimiento se encuentra en las prácticas de la empresa como las rutinas diarias de trabajo, tecnologías o repositorios de documentos físicos o digitales (p. ej. libros, manuales, videos).
- **Entidades Organizacionales:** El conocimiento en las entidades de organización como unidades organizativas (partes de la organización), como la organización entera, y en las relaciones entre organizaciones (p. ej. relación entre sus clientes).

2.2. Fase 2: Identificando los tópicos del conocimiento

En esta fase fue necesario identificar los temas de conocimiento implicados en el proceso de búsqueda de expertise en el desarrollo de software, teniendo en cuenta los diferentes tipos de conocimientos generados por la organización. Los tipos de conocimiento relevantes para este trabajo están relacionados con las características de las actividades de los desarrolladores de software.

La actividad en esta fase no trata de describir los temas en detalle, pero si identificarlos como parte de los requisitos de conocimientos. Los temas que se identificaron en esta fase se describen de la siguiente manera: i) Perfil del conocimiento, esto se refiere a describir el perfil de conocimiento de los expertos, para poder

identificar qué es lo que saben y a qué nivel lo saben [21]. ii) La información de Disponibilidad, esto se refiere al conocimiento de las actividades que tienen relación con la actividad actual de un colega con el fin de iniciar la interacción con un experto. iii) Ubicación del Conocimiento, esto se refiere a la información sobre la manera en que está almacenado el conocimiento según la fuente (personas, artefactos, entidades organizacionales).

2.3. Fase 3: Identificando el flujo del conocimiento

Esta fase implicó la creación de un modelo de flujo de conocimiento del proceso de búsqueda de expertise en los equipos de desarrollo de software. Para este trabajo, el flujo del conocimiento está representado por un autómata finito (ver Figura 1).

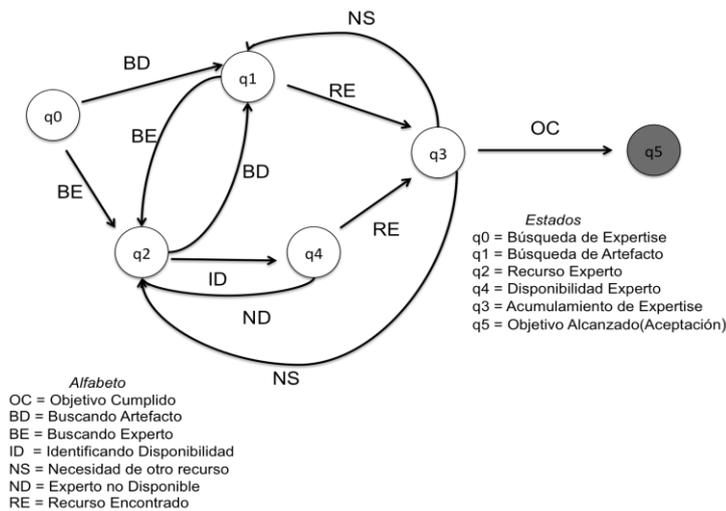


Fig. 1. Representación del flujo de conocimiento mediante un autómata.

El autómata (Figura 1) representa el flujo del conocimiento del proceso búsqueda de expertise, donde se inicia teniendo la necesidad de conocimiento para resolver alguna dificultad en una actividad (q0). Posteriormente se puede elegir entre hacer una búsqueda de artefactos (q1) o una búsqueda de un experto (q2). En el caso de elegir una búsqueda de artefactos (q1) se busca entre todos los artefactos disponibles (páginas, manuales, videos, código reutilizado), al encontrar un artefacto se verifica si este ayudó a cumplir el objetivo o aún es necesario buscar más artefactos (q3). Si no es necesario buscar más artefactos entonces el objetivo se cumplió (q5), de lo contrario se puede buscar más artefactos (q1). Un artefacto puede sugerir que se busque a un experto (q2). En el caso de elegir una búsqueda de experto (q2) se inicia buscando expertos con el grado de conocimiento para resolver la dificultad que se tienen en la actividad, una vez que se encuentra un experto se necesita comprobar su disponibilidad (q4) para iniciar una interacción con él, posteriormente se comprueba si la consulta del experto fue suficiente (q3) o se necesita consultar al experto o a otro (q2), también en el caso de

estar buscando un experto puede ocurrir que un experto sugiera algún artefacto (q1), si el objetivo se cumplió el proceso termina (q5).

2.4. Fase 4: Identificando los obstáculos en el flujo del conocimiento

Esta fase consiste en la identificación de los obstáculos que se presentan en el proceso de búsqueda de expertise los cuales fueron obtenidos a partir de las entrevistas. Esto permitió que el proceso de clasificación de los obstáculos y la búsqueda de una posible solución. Los problemas identificados se describen en la Tabla 1. La primera columna define los problemas que surgieron a partir del análisis de las fuentes y temas de conocimiento. La segunda columna describe brevemente una situación de ejemplo para ilustrar el problema.

Tabla 1. Lista de problemas y situaciones identificadas.

Problemas	Situaciones
1.Administración de los artefactos (individual o grupal)	En algunos casos se conoce al proveedor del conocimiento pero no se tiene acceso a sus artefactos (blogs, manuales, código reutilizado).
2. Administración de los Expertos	Muchas veces es difícil encontrar a la persona con el nivel adecuado de expertise para poder consultar alguna duda o resolver un problema en una actividad.
3.Disponibilidad de los Expertos	En algunos casos no se sabe si el expertise o el experto está disponible para la persona que lo está buscando.
4.Tiempo de resolución de dificultades	En algunos casos se pierde mucho tiempo en la búsqueda de expertise por qué no se cuenta con el conocimiento de donde se encuentra o quiénes son los proveedores.

3. Implicaciones de diseño

Con base en el conjunto de problemas de flujo de conocimiento identificados (ver Tabla 1), estos fueron transformados en características de la búsqueda de expertise. Por lo que en la Tabla 2 se presentan las implicaciones del diseño de un sistema que podría proporcionar un apoyo para la búsqueda de expertise en el desarrollo de software.

Tabla 2. Implicaciones de diseño.

Características	Implicaciones de diseño
1. Gestión del conocimiento	I1. Uso de mecanismos que recolecten el conocimiento de la empresa (personas, artefactos, entidades organizacionales).
2. Búsqueda de Artefactos	I2. Uso de mecanismos que permitan dar acceso a los artefactos (prácticas, repositorios, tecnologías) de los miembros dentro de la empresa.
3. Búsqueda de Expertos	I3. Uso de mecanismos que permitan encontrar a los proveedores con el conocimiento y grado adecuado para consultar y para resolver dificultades con alguna actividad.
4. Acceso al Conocimiento	I4. Uso de mecanismos que permitan acceso al conocimiento (personas, artefactos y entidades organizacionales) por parte de cualquier miembro de la organización.

La primera columna define la característica que sería deseables en el proceso de búsqueda de expertise. La segunda columna describe la implicación de diseño que se debe tomar en cuenta para poder dar soporte a la búsqueda de expertise durante las actividades del desarrollo de software.

4. Conclusiones y trabajos futuros

La búsqueda de expertise implica la necesidad de interactuar con personas, así como también acceder a sus fuentes de conocimiento. Con la ayuda de la metodología KoFI fue posible determinar las fuentes de conocimiento en el desarrollo de software, que principalmente son las personas, puesto que son los que tienen acceso al expertise. Dicho expertise puede estar representado en blogs, videos, manuales y en los trabajadores del desarrollo de software. También fue posible identificar los elementos clave del expertise, que son la información relacionada a la disponibilidad de los proveedores del expertise, el conocimiento al que tienen acceso dichos proveedores, y la información del perfil de los proveedores. Para describir el flujo del conocimiento en el desarrollo de software se utilizó un autómata finito para ilustrar los diferentes caminos que se pueden tomar cuando se busca el expertise. A partir de esto se identificaron los obstáculos que se presentan durante la búsqueda del expertise en el desarrollo de software, los cuales fueron la administración del conocimiento, la administración de los expertos y el tiempo de respuesta para dicha búsqueda. Para abordar estos obstáculos, se proponen mecanismos que permitan gestionar el conocimiento de la organización, buscar y tener acceso a dicho conocimiento y contar con la información de la disponibilidad de los proveedores del expertise. Los resultados de este trabajo son la base para el desarrollo de una herramienta tecnológica para soportar la búsqueda de expertise con un sistema multi-agente que facilite la distribución de este tipo de información de manera transparente a los usuarios.

Referencias

1. Ammar-Khodja, S., Bernard, A.: An overview on knowledge management. *Methods and tools for effective knowledge life-cycle-management*, pp. 3–21. Springer (2008)
2. Serban, A.M., Luan, J.: Overview of knowledge management. *New Directions for Institutional Research*, pp. 5–16 (2002)
3. Prusak, L.: Where did knowledge management come from? *IBM systems journal* 40, pp. 1002–1007 (2001)
4. Ponelis, S., Fairer-Wessels, F.A.: Knowledge management: A literature overview. *South African Journal of Libraries and Information Science* 66, (2014)
5. Alavi, M., Leidner, D.E.: Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues. *MIS quarterly*, pp. 107–136 (2001)
6. Wang, S., Noe, R.A., Wang, Z.-M.: Motivating Knowledge Sharing in Knowledge Management Systems A Quasi-Field Experiment. *Journal of Management* 40, pp. 978–1009 (2014)
7. Jones, G., Sallis, E.: *Knowledge management in education: Enhancing learning & education*. Routledge (2013)

8. Petrides, L.A., Nodine, T.R.: Knowledge Management in Education: Defining the Landscape. (2003)
9. Abidi, S.S.R.: Knowledge management in healthcare: towards 'knowledge-driven' decision-support services. *International Journal of Medical Informatics* 63, pp. 5–18 (2001)
10. Nicolini, D., Powell, J., Conville, P., Martinez-Solano, L.: Managing knowledge in the healthcare sector. A review, *International Journal of Management Reviews* 10, pp. 245–263 (2008)
11. Jain, R.: Improvement in Software Development Process and Software Product through Knowledge Management. *International Journal of Computer Technology and Applications* 2, pp. 1557–1562 (2011)
12. Rodríguez, O.M., Vizcaíno, A., Martínez, A.I., Piattini, M., Favela, J.: Using a multi-agent architecture to manage knowledge in the software maintenance process. *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, Springer, pp. 1181–1188, (2004)
13. Rus, I., Lindvall, M.: Guest editors' introduction: Knowledge management in software engineering. *IEEE software* 19, pp. 26–38 (2002)
14. Espinosa, J.A., Carmel, E.: The impact of time separation on coordination in global software teams: a conceptual foundation. *Software Process: Improvement and Practice* 8, pp. 249–266 (2003)
15. Keil, P., Paulish, D.J., Sangwan, R.S.: Cost estimation for global software development. *Proceedings of the 2006 international workshop on Economics driven software engineering research*, pp. 7–10, ACM (2006)
16. Ericsson, K.A., Prietula, M.J., Cokely, E.T.: The making of an expert. *Harvard business review* 85, p. 114 (2007)
17. Rodríguez-Elias, O.M., Vizcaíno, A., Martínez-García, A.I., Favela, J., Piattini, M.: Knowledge Flow Identification. *Encyclopedia of Information Science and Technology*. pp. 2337–2342 (2009)
18. Rodríguez-Elias, O.M., Vizcaíno, A., Martínez-García, A.I., Favela, J., Piattini, M.: Studying Knowledge Flows in Software Process. In: Belini, E.A. (ed.) *Software Engineering and Development*, pp. 37–68, Nova Publishers (2009)
19. Martin, B., Hanington, B., Hanington, B.M.: *Universal methods of design: 100 ways to research complex problems, develop innovative ideas, and design effective solutions*. Rockport Pub (2012)
20. Becerra-Fernandez, I., Sabherwal, R.: *Knowledge management: systems and processes*. ME Sharpe (2010)
21. Velázquez Mendoza, M.J., Rodríguez-Elias, O.M., Rose Gómez, C.E., Meneses Mendoza, S.R.: Modelo para diseño de perfiles de conocimiento: una aplicación en la industria generadora de energía eléctrica. *Research in Computing Science* 55, pp. 125–135 (2012)

Potenciando los entornos lúdicos de programación con las interfaces naturales de usuario

Pedro Damián-Reyes, María Andrade-Aréchiga

Universidad de Colima, Facultad de Telemática,
Colima, México

{damian, mandrad}@ucol.mx

Resumen. En este trabajo se expone la integración de la educación lúdica basada en un lenguaje de programación para niños y las interfaces naturales de usuario (NUI) por medio del sensor Kinect de Microsoft. El objetivo final que se persigue con el proyecto es evaluar el impacto que puede tener la inclusión las NUI en un entorno educativo lúdico de la enseñanza de la computación básica. Como resultado preliminar del proyecto, presentamos un prototipo funcional creado en Visual Studio que utiliza el lenguaje de programación Scratch y el sensor Kinect.

Palabras clave: Interacción humano-computadora, interfaces naturales de usuario, educación lúdica apoyada por computadora.

1. Introducción

Inglés y computación en todos los niveles educativos del sistema de enseñanza de la educación pública en México es una de las estrategias que han impulsado los gobiernos en nuestro país. Los argumentos son muchos y algunos muy válidos, los datos estadísticos que presentan los especialistas en la materia, demuestran una marcada necesidad del mercado laboral de personas con habilidades en computación e inglés, por lo que resulta oportuna la estrategia impulsada por el gobierno.

Sin embargo, en el ámbito educativo, no es suficiente con establecer leyes que obliguen a las instituciones educativas a implementar programas específicos para garantizar el éxito en los objetivos planteados en la estrategia, sino que deben acompañarse de planes y programas educativos de calidad, que garanticen la adquisición de los conocimientos y habilidades del área abordada. Junto con los planes de calidad se deben diseñar estrategias y herramientas que faciliten el desarrollo de las actividades y el logro de los objetivos de estos planes.

Para lograr este objetivo, en este documento se propone una estrategia en donde se combinan dos grandes áreas: la educación lúdica apoyada por tecnologías y las interfaces naturales de usuario para la enseñanza de la programación básica, gran línea abierta de investigación en el ámbito de tecnología educativa [1, 2], y que es la motivación esencial para el desarrollo de la propuesta.

2. Programación para niños

Existen en el mercado una gran cantidad de herramientas enfocadas en la enseñanza de la programación para niños, con un enfoque lúdico. Algunas de las herramientas son:

- Scratch (<https://scratch.mit.edu>). Es una de las plataformas de mayor éxito en la educación inicial de la computación. Fue creada y es mantenida por el grupo Lifelong Kindergarten del laboratorio de medios del MIT. Ayuda a los jóvenes a aprender a pensar creativamente, razonar sistemáticamente, y trabajar colaborativamente — habilidades esenciales para la vida en el siglo XXI. Con Scratch es posible programar historias interactivas, juegos y animaciones — y compartir las creaciones con otros usuarios en la comunidad en línea. Scratch está diseñado especialmente para edades entre los 8 y 16 años, pero es usado por personas de todas las edades. Millones de personas están creando proyectos en Scratch en una amplia variedad de entornos, incluyendo hogares, escuelas, museos, bibliotecas y centros comunitarios. La programación en Scratch se basa en arrastrar y pegar bloques icónicos que representan instrucciones, eventos, objetos, variables
- Simple (<http://www.simplecodeworks.com>). Es un lenguaje de programación para niños. El objetivo es facilitar la escritura de programas de computación por medio de instrucciones sencillas. Se integra de un compilador que transforma las instrucciones de Simple a lenguaje C++ y posteriormente genera el archivo ejecutable. El lenguaje se basa en la modularidad y reutilización de software. Se encuentra disponible sólo para Windows.
- Stencyl (<http://www.stencyl.com>). Es un entorno diseñado para crear juegos sin necesidad de escribir código. El entorno es muy amigable con el usuario y bastante intuitivo. Todas las instrucciones, escenarios, eventos, objetos, etc. son representados con íconos que se arrastran y pegan en el editor. El editor es una extensión del utilizado en Scratch, el cual fue mejorado con cientos de nuevos bloques y funcionalidades listas para utilizarse. Los juegos creados para ser para Windows, Mac, Linux, Android, iOS (iPhone/iPad) y flash.
- Game Maker (<http://www.yoyogames.com/studio>). Es una plataforma para la creación de juegos que garantiza la generación del producto en un 80% menos del tiempo y costo invertido en otras herramientas del mismo tipo. Está diseñada para programadores novatos y expertos en la creación de juegos. El entorno de desarrollo está diseñado para crear juegos sin tener conocimientos de programación. Para los programadores expertos incluye un lenguaje de programación basado en scripts llamado GML, que les permite manejar todos los detalles del juego de manera directa. Se encuentra disponible para Windows, Mac, iOS, Ubuntu, Android, Windows Phone y HTML 5.
- Codecademy (<http://www.codecademy.com>). Es una empresa dedicada a la educación en línea. Uno de sus objetivos es llevar el aula a la Web, creando cursos en línea que los usuarios pueden tomar en el lugar y el momento en que quieran. No es una empresa enfocada particularmente en niños, pero sus cursos son básicos y utilizan una metodología de aprendizaje que los niños pueden seguir.
- Light-Bot (<http://lightbot.com>). Es un juego de rompecabezas que deben resolver utilizando lógica de programación. Su objetivo es introducir principios de programación para niños por medio del juego, en este caso, la resolución de retos por niveles. La aplicación le presenta un reto a resolver y el usuario debe seleccionar las instrucciones, representadas por íconos gráficos, para lograr el

objetivo. Se encuentra disponible para Windows, iPhone/iPad, Android, Mac y Kindle.

- Alice (<http://www.alice.org>). Es un ambiente de programación en 3D creado por la Universidad Carnegie Mellon que permite la creación de historias animadas, juegos interactivos o videos de una manera sencilla. Es una herramienta diseñada para ser el primer punto de encuentro con un estudiante interesado en la programación de computadoras. La estrategia implementada en Alice es el aprendizaje basado en problemas por medio de la creación de películas animadas y videojuegos simples. Los estudiantes utilizan la técnica de arrastrar y pegar objetos gráficos para la creación de programas, los objetos gráficos se corresponden con instrucciones de un lenguaje de programación orientado a objetos como Java, C++ y C#. Corre en sistemas operativos Windows, Mac y Linux.
- Doma de Serpientes para Niños (<http://code.google.com/p/swfk-es>). Es un libro electrónico para usuarios de 8 o más años que quieran aprender a programar. Cubre lo básico de la programación utilizando el lenguaje de programación Python 3 como base para aprender los conceptos. Es necesario instalar Python 3, el usuario debe tener conocimientos básicos para utilizar un procesador de texto plano y dominar el proceso de abrir y guardar archivos.
- KidsRuby (<http://kidsruby.com>). Es una plataforma de aprendizaje para niños utilizando el lenguaje de programación Ruby. El objetivo es crear juegos de manera divertida y sencilla. Se encuentra disponible para Windows, Mac, Linux y Raspberry Pi.
- Hackety Hack (<http://www.hackety.com>). Es un entorno de desarrollo para niños que utiliza el lenguaje de programación Ruby. Su objetivo es enseñar los elementos básicos de programación. El entorno funciona en Windows, Mac y Linux.
- Kodu (<http://www.kodugamelab.com>). Fue diseñado para enseñar a programar con tres conceptos eje: creatividad, resolución de problemas y narrativa. Permite a los niños crear juegos en la PC y el Xbox con un lenguaje de programación visual muy simple. No se requieren habilidades de diseño, ni de programador para poder crear un juego utilizando Kudo. Se encuentra disponible de manera gratuita para los sistemas operativos Windows.
- LEGO MindStorms NXT (<http://www.lego.com/en-us/mindstorms>). Es una plataforma de la marca LEGO que busca fortalecer la creatividad de los niños por medio de la programación de robots. Cuenta con un entorno de desarrollo de programas sencillos y se basa completamente en arrastrar y pegar bloques gráficos que encapsulan instrucciones para que los robots ejecuten acciones específicas. El entorno permite la conexión directa con el robot para instalar el programa y darle vida al producto. Por medio de la programación es posible utilizar los motores, sensores, elementos de comunicación y todos los aditamentos tecnológicos que tiene la marca en sus robots.
- Petit Computer http://www.nintendolife.com/reviews/dsiware/petit_computer. Es una versión del lenguaje de programación BASIC para las consolas Nintendo DSi/3DS. No es un entorno de desarrollo específico para niños, sin embargo, al ser creado para las consolas Nintendo su mercado objetivo son los niños usuarios de este dispositivo de juego.

- Raspberry Pi (<https://www.raspberrypi.org>). Aun cuando no es un entorno de programación esta arquitectura hardware ha facilitado la enseñanza de la programación básica. Es una mini computadora de hardware y software libre de bajo costo. Esta arquitectura ha sido utilizada para enseñar elementos básicos de computación y programación. Se considera factible presentar la arquitectura y funcionamiento general de una computadora por medio de la interacción directa con el hardware y los conceptos de programación se utilizan al programar esa computadora. La capacidad de ésta permite instalar el sistema operativo Linux y el lenguaje de programación C, C++.

3. Scratch como herramienta lúdica

La educación lúdica apoyada por tecnología ha demostrado tener un impacto positivo en los estudiantes, como lo señalan numerosos estudios que han sido realizados. Ejemplo de esto son los que se basan en el uso de juegos serios en contextos educativos cuyos resultados son muy positivos [1, 2, 3, 4, 5].

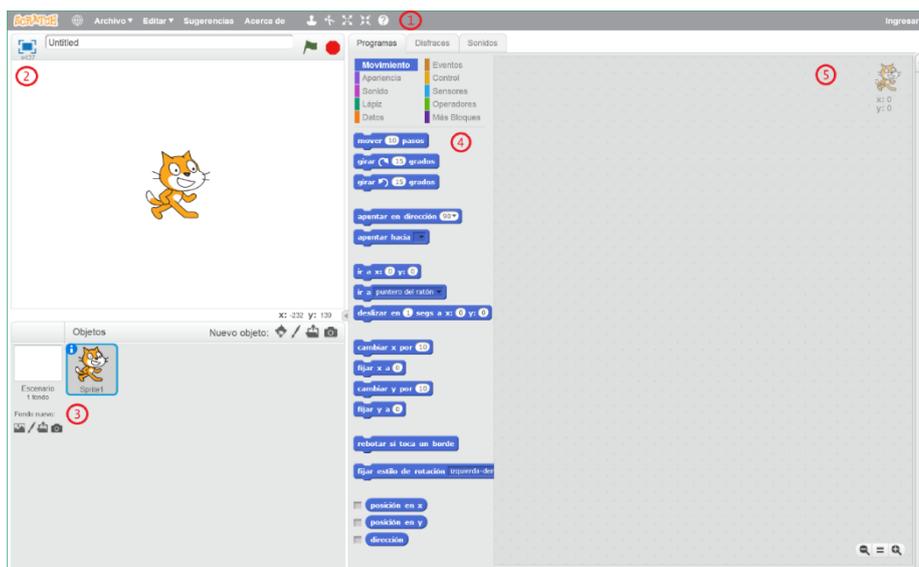


Fig. 1. Interfaz de Scratch.

Lo anterior nos permite asegurar que una estrategia para fortalecer la educación de la programación básica consiste en utilizar una herramienta que le permita al estudiante sentirse partícipe de un juego, y no de un entorno educativo. Es en este punto en donde entra el valor del lenguaje Scratch, ya que este lenguaje se basa en la creación de aplicaciones de software como si de un juego se tratase, aunque en realidad fue diseñado para crear historias animadas y juegos de una manera muy sencilla, haciendo sentir al programador que es parte de un juego.

El lenguaje Scratch ha sido ampliamente utilizado en ambientes educativos, como lo demuestran numerosos proyectos a nivel internacional, por ejemplo, la

implementación en instituciones educativas de Cali, Colombia [1], la introducción en diferentes naciones en desarrollo como India, Africa, Ecuador, Nicaragua, Paraguay, Uruguay, entre otros [2], en el sistema educativo de la República Bolivariana de Venezuela [3], también las instituciones de educación de naciones desarrolladas utilizan Scratch como herramienta educativa, por ejemplo, Kennedy-Longfellow School in Cambridge, Massachusetts [4], entre muchas otras. Es tanta la popularidad del producto que se organiza en el mundo un evento anual llamado “Scratch Day”

Como es posible darse cuenta, Scratch es una poderosa herramienta para la educación de la programación básica. Su funcionamiento se considera muy sencillo, y por ello se describen los principales elementos que integran este ambiente de desarrollo.

El ambiente de desarrollo puede ejecutarse en línea o descargarse a la computadora (<https://scratch.mit.edu/scratch2download>), los sistemas operativos de la versión para computadora son Windows, Mac OS y Linux.

Para el presente caso, se optó por utilizar la versión Web debido a que se puede integrar en un navegador desde una aplicación desarrollada en Visual Studio y utilizar la programación con el sensor Kinect.

El entorno de desarrollo es muy agradable a la vista, como se puede apreciar en la Fig. 1.

Las partes que lo integran son:

1. Barra de menú textual, permite seleccionar las opciones generales relacionadas con la manipulación de archivo (nuevo, guardar, subir de computadora, descargar a computadora, revertir), con el proceso de edición del proyecto (recuperar borrado) y las clásicas opciones de sugerencias y acerca de. También incluye unos íconos de algunas acciones comunes al momento de escribir un programa (duplicar, borrar, crecer, encoger y ayuda).
2. Interfaz de usuario, en ella se visualiza el funcionamiento del proyecto en ejecución y permite la interacción con el usuario de la aplicación. También se localizan el botón de ejecución que corresponde a la bandera verde y el de detener la ejecución con el ícono rojo.
3. Ventana de objetos, se muestran los elementos que se incluyen en la aplicación que corresponde a objetos y escenarios. Los objetos son los elementos que le dan vida a la aplicación, corresponden a lo que es una instancia de objeto en la POO, tienen propiedades y comportamiento basado en eventos. Los escenarios son un tipo especial de objeto que se utiliza como fondo de la aplicación, cuenta con las mismas características de los objetos. Scratch proporciona una biblioteca de objetos predefinidos que pueden ser utilizados, o el desarrollador puede crear sus propios objetos, incluso puede tomar una foto con la cámara de la computadora para diseñar sus objetos.
4. Elementos de programación, en esta sección se muestran los diferentes bloques que son utilizados para escribir la programación de la aplicación, pueden ser: instrucciones de movimiento, de apariencia, de sonido, de control, entre otros. Cada categoría presenta bloques diferentes que se traducen en instrucciones, eventos, acciones que representan las reglas de negocio de la aplicación.
5. Editor de código, es el área en donde se colocan los bloques de programación para la generación de la aplicación.

Para crear una aplicación se debe seleccionar el objeto y agregar los códigos correspondientes, por ejemplo, si se quiere crear la clásica aplicación “¡Hola mundo!” es necesario hacer lo siguiente:

1. Seleccionar el objeto principal localizado en la ventana de objetos (3 en Fig. 1), en nuestro caso el gatito llamado “Sprite1”.
2. En el panel de elementos de programación (4 en Fig. 1), seleccionar la clasificación “Eventos”, arrastrar al panel de edición de código (5 en Fig. 1) el bloque llamado “al presionar (bandera verde)”. Este bloque de código es el inicio del programa.
3. Seleccionar la clasificación “Apariencia”, arrastrar el bloque “decir Hello” y modificar la palabra “Hello” por “¡Hola mundo!”.
4. Ejecutar la aplicación haciendo clic en el ícono de la bandera verde en la interfaz de usuario (2 en Fig. 1).

4. Interfaces naturales de usuario

Las interfaces naturales de usuario (en inglés Natural User Interface o NUI) son aquellas que permiten la interacción humano computadora sin utilizar dispositivos de entrada que el usuario deba tocar físicamente, en lugar de ello el usuario hace uso de movimientos gestuales con su cuerpo para realizar la interacción, por ejemplo, movimiento de las manos, del cuerpo o el sonido. Las NUI proporcionan la capacidad de interactuar con una máquina usando únicamente el cuerpo humano [10].

En la actualidad existen varios dispositivos que son utilizados para implementar las NUI, por ejemplo:

1. Leap Motion Controller (<https://www.leapmotion.com>), es una pequeña barra que se conecta a la computadora y detecta el movimiento de las manos para interactuar con la máquina.
2. Myo Gesture Control Armband (<https://www.thalmic.com/myo>), es una banda que se coloca en el antebrazo y por medio de los movimientos en el brazo realiza la interacción con la computadora.
3. Google Glass (<https://developers.google.com/glass>), son unos lentes creados por Google por medio de los cuales los usuarios solicitan y reciben información o servicios utilizando su voz, localización, video, entre otras variables que los lentes perciben.
4. Microsoft HoloLens (<https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us>), es la primera computadora holográfica sin ataduras que permite combinar el mundo real, con hologramas de alta definición, para generar una experiencia de realidad aumentada mixta.
5. Microsoft Kinect Sensor, es un dispositivo que integra una gran cantidad de sensores que detectan el movimiento corporal del usuario que se coloca enfrente de él, al mismo tiempo captura el sonido permitiendo la interacción utilizando instrucciones de voz (<https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows>).

Particularmente el sensor Kinect de Microsoft ha sido utilizado en muchos proyectos relacionados con la educación, el entretenimiento y la salud, como se puede

constatar en la gran variedad de aplicaciones que han sido desarrolladas con objetivos didácticos [11].

En el presente caso se seleccionó el sensor Kinect porque ofrece una plataforma de desarrollo accesible y fácil de utilizar, ya que se integra de manera natural con el Visual Studio. El Visual Studio es la plataforma de desarrollo de software de Microsoft.

Para iniciar con el desarrollo de aplicaciones que utilicen el sensor Kinect se debe contar con los siguientes requisitos:

1. Sensor Kinect de Microsoft.
2. Visual Studio 2013 o superior (<https://www.visualstudio.com>).
3. Kinect para Windows SDK 2.0 (<https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=44561>).

5. Scratch utilizando una NUI

Se desarrolló una aplicación en donde se integran el lenguaje Scratch y el sensor Kinect para la manipulación de la interfaz.

La aplicación despliega el entorno de desarrollo de Scratch y el usuario escribe un programa utilizando el sensor Kinect, como se puede apreciar en la Fig. 2.



Fig. 2. Aplicación con Scratch y Kinect.

Se planteó un escenario en donde se pretende medir la facilidad de uso de la aplicación tomando como base la enseñanza de algunos conceptos básicos de programación, tales como:

1. Objetos, identificar el concepto de objeto en el desarrollo de una aplicación de software.
2. Secuencialidad, conocer la ejecución secuencial de instrucciones para lograr un objetivo.

3. Sentencia condicional, aplicar de manera correcta la instrucción condicional Si...entonces... (if...else...) en el desarrollo de software.
4. Sentencia cíclica, utilizar de manera adecuada sentencias cíclicas del tipo mientras... (while...).

Para lograr lo anterior, al usuario se le pedirá que elabore los siguientes programas:

1. Hacer que el gatito avance 100 pasos, gire 90 grados hacia la derecha, avance 100 pasos, gire 90 grados hacia la derecha, avance 100 pasos, gire 90 grados hacia la derecha, avance 100 pasos y finalmente gire 90 grados. Con este ejercicio se pretende abordar los conceptos de objeto y secuencialidad.
2. Para aplicar los conceptos de una instrucción cíclica se realizará lo siguiente, repetir 5 veces el algoritmo del ejercicio 1, incrementando el número de pasos en 10 en cada vuelta completa del gatito.

6. Conclusiones

Con la implementación de la aplicación presentada en este documento hemos logrado manipular un lenguaje de programación lúdico con una interfaz natural de usuario. Al incluir una NUI se espera incrementar el atractivo de la utilización del lenguaje Scratch, y con ellos apoyar la enseñanza de los conceptos básicos de computación.

Aún estamos en la etapa de evaluación de usabilidad de la aplicación y tenemos planeada la realización de un experimento en donde se valore el nivel de aprendizaje de los conceptos establecidos utilizando la herramienta y sin utilizarla. Además de comprobar qué tanto el uso del kinect hace la diferencia en cuanto a la facilidad de aprendizaje del Scratch.

Referencias

1. Sáez López, J.M., Dominguéz Garrido, C.: Integración pedagógica de la aplicación MineCraft EDU en educación primaria: un estudio de caso, *Píxel-Bit. Revista de medios y educación*, nº 45, pp. 95–110 (2014)
2. Backlund, P., Hendrix, M.: Educational Games - Are They Worth The Effort? *International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-Games)*, Msida, Malta (2013)
3. Kirriemuir, J., Mcfarlane, A.: Literature Review in Games and Learning. A NESTA Futurelab Research report - report 8 (2004)
4. Marsh, T.: Serious games continuum: Between games for purpose and experiential environments for purpose. *Entertainment Computing*, Vol. 2, No. 2, pp. 61–68 (2011)
5. Guillén-Nieto, V., Aleson-Carbonell, M.: Serious games and learning effectiveness: The case of It's Deal! *Computer & Educations*, Vol. 58, No. 1, pp. 435–448 (2012)
6. López García, J.: eduteka. [En línea]. Available: <http://www.eduteka.org/modulos.php?catx=9&idSubX=278> (2015)
7. Team, S.: ScratchEd. [En línea]. Available: <http://scratched.gse.harvard.edu/stories/scratch-around-world-part-1-4-developing-scratch-developing-nations> (2015)
8. Eduteka, Scratch Venezuela: [En línea]. Available: <http://www.scratchvenezuela.com/>. (2015)

9. Team, S. ScratchEd: [En línea]. Available: <http://scratched.gse.harvard.edu/stories/cambridge-scratch-educator-meetups> (2015)
10. Wigdor, D., Wixon, D.: Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture. Morgan Kaufmann (2011)
11. Microsoft: Kinect for Windows, Microsoft. [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/meetkinect/gallery.aspx?searchv=education> (2015)
12. Expansión.com: Unidad Editorial Información Económica, S.L., [En línea]. Available: <http://www.expansion.com/2011/03/29/empleo/mercado-laboral/1301389344.html> (2015)
13. Financiero, E.: El Financiero, Grupo Multimedia Lauman, SAPI de CV: [En línea]. Available: <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/el-56-de-profesionistas-mexicanos-tienen-nivel-medio-de-computacion.html> (2015)

Modelo de actividades para la caracterización de procesos de toma de decisiones no programadas enmarcadas en escenarios de negociación

Javier Albadán Romero, Paulo Alonso Gaona García

Universidad Distrital Francisco José de Caldas,
Bogotá, Colombia

Resumen. La toma de decisiones (TD) es una trascendental habilidad en cargos de alta dirección organizacional. Allí, diferentes actividades ejercidas pueden ser comprendidas dentro del concepto de negociación, el cual tiene un estrecho vínculo con la TD. La TD no programadas son llevadas a cabo por una persona en escenarios atípicos donde la información es ambigua y conlleva la implementación de métodos de solución poco habituales. Actualmente existen modelos matemáticos que especifican la TD desde diferentes enfoques, no obstante la TD no programadas todavía es un campo de acción por explorar, pues no se han determinado estrategias sólidas que fundamenten procesos de TD en escenarios atípicos. A partir de este panorama, este artículo tiene como propósito presentar un modelo de relación entre actividades que permitan caracterizar la TD no programadas y los escenarios de negociación, con el propósito de ser usado después en un entorno de gamificación aplicando agentes inteligentes.

Palabras clave: Toma de decisiones no programadas, alta gerencia, negociación, modelo de caracterización.

1. Introducción

Los gerentes de niveles estratégicos y operativos en muchas organizaciones enfrentan, con frecuencia, problemas de decisión similares que pueden variar debido a diferencias en sus estilos de toma de decisiones así como de la subjetividad, tal como se define en [1]. Por su parte, las decisiones tomadas en actividades que se llevan a cabo en la alta dirección son denominadas decisiones estratégicas desde la perspectiva expuesta en [2]. Las decisiones estratégicas se definen como elecciones de tal importancia que puedan comprometer la asignación de determinados recursos, así como el alcance y mantenimiento de la ventaja competitiva en la organización.

Específicamente, la toma de decisiones es un proceso meta cognitivo involucrado en casi todo proceder cotidiano, el cual ocurre durante unos pocos segundos en la mente humana, tanto en acciones conscientes como subconscientes. La toma de decisiones se puede detallar a partir de 3 elementos constituyentes según [3]: la situación de decisión, quién toma las decisiones (negociador) y el proceso de decisión. Desde otra perspectiva, [4] expone tres elementos esenciales para la toma de decisiones: las metas de decisión, un conjunto de elecciones alternativas y un conjunto de criterios o estrategias.

Existen algunas propuestas orientadas a definir modelos de caracterización de procesos en tomas de decisiones, en esa vía [4] llevaron a cabo un estudio sobre la taxonomía de las estrategias y criterios de la toma de decisiones donde lograron establecer 4 categorías que abarcan los 24 criterios presentados. Por su parte [5] exponen los principales modelos matemáticos asociados a los procesos de toma de decisiones, detallando diferentes enfoques orientados a apoyar la toma de decisiones.

En cuanto a la toma de decisiones no programadas, [6] se definen dos tipos de problemas: estructurados y no estructurados y presenta una relación con las mismas categorías de toma de decisiones. En esa vía, recibir información inexacta o perder alternativas puede generar que se tomen decisiones imprecisas como lo explican [7]. Para [8] en una organización las decisiones no son completamente programadas ni completamente no programadas, sino una combinación de ambos tipos. No obstante estas nociones, la toma de decisiones no programadas todavía es un campo de acción por explorar pues no es muy amplio el desarrollo de estudios en esta vía.

A partir de este panorama, la motivación de este artículo se centra en profundizar en el estudio de la toma de decisiones no programadas, con el propósito de generar y especificar un modelo para caracterizar procesos de toma de decisiones no programadas en escenarios de negociación de alta gerencia.

El artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan las características generales de la toma de decisiones no programadas, sustentando su relación con la alta dirección en organizaciones. En la sección 3 se relacionan los detalles metodológicos. En la sección 4 se propone el modelo que permitirá caracterizar actividades de toma de decisiones no programadas en escenarios de negociación. Finalmente se plantean las conclusiones y trabajos futuros.

2. Marco teórico

En esta sección se abordan los aspectos trascendentales de la toma de decisiones en general para luego enfocarse sobre las toma de decisiones no programadas. Posteriormente se sustentará la relación entre la toma de decisiones y la alta gerencia. Con esta base conceptual, se pretende dar sustento para establecer relación con las nociones de negociación en la discusión y concretar así el modelo aquí propuesto.

2.1. Características cognitivas de la toma de decisiones

La toma de decisiones es uno de los 37 procesos cognitivos fundamentales que se encuentra en la capa cognitiva superior del cerebro. En este se concentra la elección de una opción de preferencia entre un conjunto de posibilidades tal como se expone en [9], quienes describen un modelo de referencia de capas del cerebro, tal como se ilustra en la Fig. 1. Describen una función cognitiva superior como una función vital avanzada del cerebro que se desarrolla y adquiere con el apoyo de funciones meta cognitivas.

Entre otras funciones del cerebro de esta capa superior, de acuerdo a [10], se encuentran el reconocimiento, la imaginación, comprensión, aprendizaje, razonamiento, deducción, inducción, toma de decisiones, resolución de problemas, la explicación, análisis, síntesis, creación, analogía, planificación y cuantificación. Todas estas funciones se encuentran clasificadas dentro de los procesos conscientes del

cerebro, los cuales se caracterizan por ser adquiridos, moldeados, se pueden controlar intencionadamente y que se basan en la voluntad, metas y motivaciones.

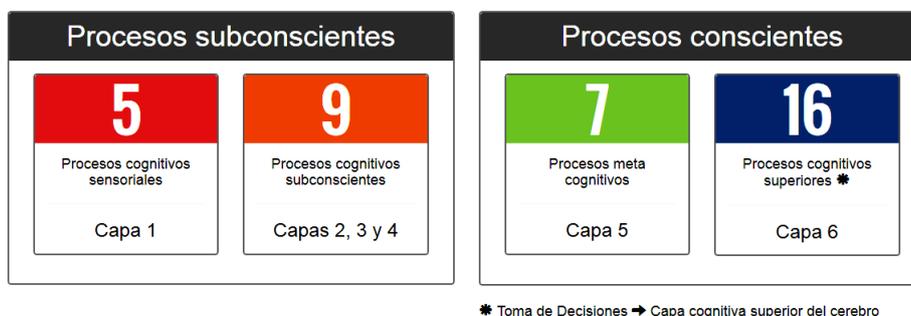


Fig. 1. Procesos cognitivos del modelo de referencia de capas del cerebro en Wang et al. [9].

La toma de decisiones está directamente involucrada con la solución de problemas, como comportamiento base de la conducta humana. Se ilustra en [4] que un espacio de problema incluye: 1) la descripción de estados posibles de la tarea y quien va a solucionar el problema y 2) la lista de las formas de moverse entre los estados de búsqueda.

2.2. Toma de decisiones no programadas

Los procesos de toma de decisiones son determinados por el tipo de problema que se va a solucionar. En la misma vía en que están definidos los tipos de problemas, la toma de decisiones presenta también dos tipos básicos de clasificación: la toma de decisiones programadas y la toma de decisiones no programadas. Estos dos tipos de toma de decisiones corresponden a problemas estructurados y no estructurados respectivamente. Del primer tipo es esencial mencionar que son decisiones rutinarias o repetitivas, tal como mencionan en [8], siendo en esencia una decisión tomada con base en antecedentes o que se ciñen a criterios preestablecidos o reglas de decisión. Un operario de una máquina o el conductor de un automóvil ejecutan este tipo de decisiones pues las acciones que llevan a cabo ya están interiorizadas.

La toma de decisiones no programadas se aplica en problemas no estructurados, los cuales por su condición de novedad y vaga definición implica recurrir a procesos de solución no frecuentes pues quién va a tomar la decisión no tiene interiorizados ciertos métodos básicos de solución. El problema no estructurado se erige en un escenario excepcional, no habitual, por ende las acciones de respuesta no son instantáneas según Corona [6]. Esta situación puede tener repercusiones ciertamente complejas teniendo en cuenta que en algunos escenarios, se pueden tomar decisiones imprecisas porque se pierden alternativas o se recibe información inexacta sobre los posibles resultados de las diferentes opciones como se explica en [7].

Finalmente, en [8] resaltan que las decisiones en una organización no son completamente programadas ni completamente no programadas, sino una combinación de ambos tipos, lo cual debe ser dominado de un experto en toma de decisiones.

2.3. Toma de decisiones en la alta dirección

En muchas organizaciones, los gerentes de niveles estratégicos y operativos se ven enfrentados con frecuencia a problemas de decisión con condiciones similares, en donde se pueden tomar diferentes rumbos debido a diferencias en sus estilos de toma de decisiones y a la subjetividad, como se sustenta en [1]. Las decisiones tomadas en actividades que se llevan a cabo en la alta dirección son denominadas decisiones estratégicas [2]. Estas decisiones estratégicas presentan gran importancia en tanto comprometen la asignación de determinados recursos, así como el alcance y mantenimiento de la ventaja competitiva en la organización. Para [11] la toma de decisiones estratégicas representa un elemento clave en la alta dirección en la medida en que determina una alineación de los recursos y capacidades, de la organización, respecto a las oportunidades y amenazas que existen en el entorno.

Un término que es susceptible de ser atribuido a este contexto de la toma de decisiones en la alta dirección, es el planteado en [12], donde se referencia que un juego gerencial es un modelo matemático, donde a partir de ciertas fórmulas se hace uso de un raciocinio lógico para las decisiones, pero adicionalmente, se considera estocástico porque implica aleatoriedad en tanto existen variables que influyen directamente en el comportamiento de la organización sin que ésta pueda establecer control sobre dichas variables (indicadores económicos y competencia). Lo interesante de abordar esta perspectiva, es que se establece el vínculo directo con la teoría de juegos que se encarga de estudiar la elección ideal cuando las decisiones dependen de los demás involucrados, haciendo uso de argumentos de racionalidad y restricciones presentes.

2.4. Negociación

El concepto de negociación se acota teniendo en cuenta el abordaje conceptual de que se plantea en [13] quien la define como un proceso en el que una decisión conjunta se hace por dos o más partes. Las partes deben expresar postulaciones contradictorias para después impulsarse hacia un acuerdo mediante un proceso de “concesión de decisiones” o por la búsqueda por nuevas alternativas. En adición, [14] señalan que la negociación es una actividad que requiere entrenamiento, práctica, estrategia y preparación, siendo elementos claves para la ejecución de acuerdos que son aceptados mutuamente por las contrapartes, a pesar de que sucedan diversos conflictos y se requiera ayuda externa.

Con la intención de abordar el uso de agentes computacionales en contextos de negociación, [15] hacen un detalle de las tareas que desarrollaría un agente para llevar a cabo procesos de negociación, los cuales sintetizan como:

- Identificar conflictos sociales,
- Identificar las partes de la negociación,
- Estructuración de la información personal,
- Definición de un protocolo y estrategia de negociación,
- Negociar (intercambio de ofertas, argumentación y aprendizaje),
- Renegociación.

A continuación, se presentan los aspectos metodológicos que caracterizaron este estudio.

3. Metodología y modelo de trabajo

La fundamentación teórica que soporta el desarrollo metodológico de esta investigación se establece en concordancia con [16] quienes sustentan que el método analítico pretende “*descomponer un todo en sus elementos constitutivos para proceder a su comprensión y rearticulación*”. Centrándose en el proceso de toma de decisiones como fenómeno de estudio, se analizan y especifican las características de los escenarios de negociación, de manera que se establezcan las actividades posibles que permitan caracterizar la toma de decisiones no programadas en escenarios de negociación. El siguiente esquema (ver Fig. 2) presenta las fases de la metodología de trabajo.

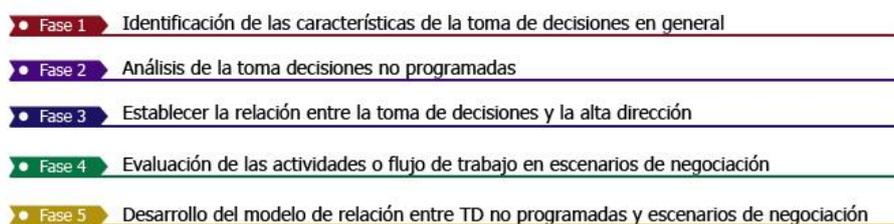


Fig. 2. Fases de la metodología.

La siguiente sección presenta el modelo propuesto en esta investigación, en el cual se relacionan las actividades que permitirán caracterizar los procesos de toma de decisiones no programadas en escenarios de negociación.

3.1 Modelo de relación entre TD no programadas y negociación

El modelo aquí propuesto establece en primer lugar 4 componentes básicos de los escenarios de negociación. En segundo lugar, 3 actividades que permitirán caracterizar los procesos de toma de decisiones no programadas. Y por último, se establece una relación entre dichos elementos (escenarios de negociación y actividades de TD no programadas). Posteriormente se especifican ciertos criterios matemáticos con los que se modelarán los procesos de TD No Programadas en estudios posteriores.

Inicialmente se establecieron 4 componentes básicos (dispuestos en cada uno de los cuadrantes) que constituyen los escenarios de negociación. Estos son:

- Contexto, problema y objetivos:* Primeros pasos dentro de un proceso de negociación. Se establecen características del problema, contexto y objetivo a conseguir.
- Partes de la negociación:* Incluye establecer los oponentes, los posibles coequiperos y los asuntos bajo los cuales hay que llegar a acuerdos.
- Protocolos y estrategias:* Siendo el núcleo de la negociación, abarca las fases de diseño, planeación y ejecución de protocolos y estrategias de negociación.
- Adaptación y reestructuración:* Enmarca acciones realizadas durante la negociación y las posibles reestructuraciones si los desenlaces no toman el curso esperado.

Por cada cuadrante se trazan las actividades que son susceptibles de ser desarrolladas con la finalidad de atender los propósitos de cada componente y con lo cual se caracterizarán los procesos de toma de decisiones no programadas. Es pertinente acotar que esto se logrará en la medida en que se involucren aspectos de ambigüedad en la información y novedad en las características del caso a enfrentar.

En ese sentido, las actividades que permitirán caracterizar los procesos de toma de decisiones no programadas que se consolidaron son (ver Fig. 3):

1. *Planteamiento de alternativas*: Visto como el manejo de probabilidades, procesamiento de información y manejo del tiempo para buscar y establecer opciones diferentes de actuar. Este tipo de actividades serán propuestas para atender los propósitos de los componentes A, C y D.
2. *Captura de información*: Entendido como aquellos procesos de percepción, de advertir y comprender características del escenario, del contexto, del problema, de los oponentes, incluso consiguiendo perfilarlos. En componentes A, B y D.
3. *Relaciones personales*: Abarcan aspectos de interrelaciones, procesos comunicativos, trabajo en equipo, trabajo bajo presión, concentración, habilidades para persuadir, imponer o de permeabilidad en las ideas (que tanto se deja sugestionar una persona). En componentes B, C y D.

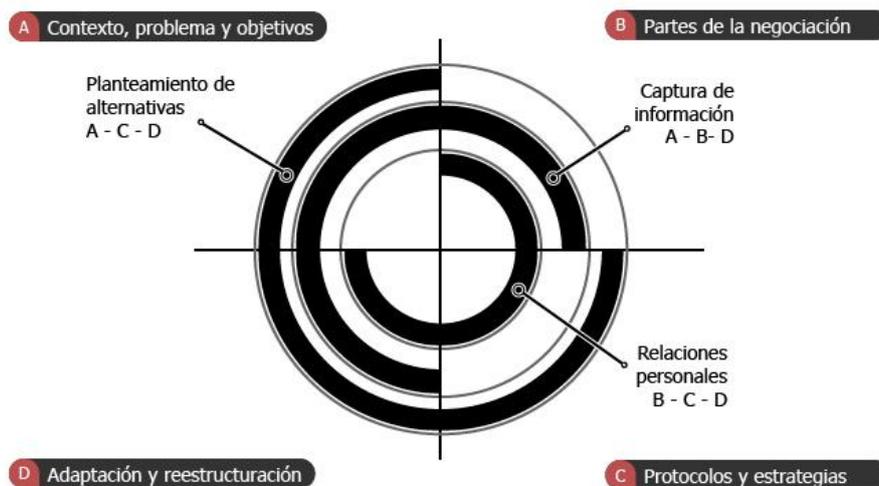


Fig. 3. Modelo de actividades para la caracterización de procesos de toma de decisiones no programadas distribuidas en los componentes de negociación.

La propuesta de este modelo también incluye la relación entre las actividades de Toma de Decisiones No Programadas y las Estrategias de Toma de Decisiones presentadas en [4], incluyendo los modelos matemáticos abordados en [5]. Esta triple relación (actividades – estrategias – criterios) representa la vía o criterio matemático por medio del que se modelaran las actividades de Toma de Decisión No Programadas en los escenarios de negociación posteriormente, haciendo uso de agentes inteligentes en entornos de gamificación. Las estrategias que no aparecen descritas por algún criterio matemático, implica un modelamiento basado en la interacción del usuario en el entorno gamificado, por ejemplo, la estrategia de “Ensayo y error”, o la

“Experimental” podrán ponerse a prueba por el número de elecciones repetidas que tenga un usuario. Por su parte, “Costo mínimo” y “Máximo beneficio” dependerán de la forma en que se entregue la información al usuario. El resultado de este análisis es mostrado en la Tabla 1:

Tabla 1. Relación entre las Actividades de TD No Programadas y las Estrategias.

Actividades de TD No Programadas	Estrategia de TD: modelo matemático (si aplica)
	Ensayo y error, Experimental, Experiencia
1- Planteamiento de alternativas	Certeza (probabilidades): $\sum P(A_i) = \sum \frac{1}{m} (A_i)$, para todo $i = 1, 2, 3 \dots m$ <i>Pesimista:</i> $d = \text{Max}(\text{Min } r_{ij}) = \text{Max}(m_i)$ <i>Optimista:</i> $d = \text{Max}(\text{Max } r_{ij}) = \text{Max}(M_i)$
2- Captura de información	Costo mínimo, Máximo beneficio
3- Relaciones personales	Arbitraria, Preferencial, Sentido Común

4. Conclusiones

Es evidente que no habrá una regla general para afrontar escenarios de negociación, sin embargo si es posible abstraer ciertas acciones y atributos con los cuales se logra dar cierta connotación especial a un proceso de negociación y que de una u otra forma pueden llegar a asegurar un idóneo abordaje por parte de un negociador. Sin embargo, el estudio de la relación entre escenarios de negociación y los procesos de toma de decisiones abordados arrojó como resultado 4 grandes categorías de actividades, sintetizando fases y renombrando algunas de las que fueron presentadas anteriormente. Donde se hacen explícitos los objetivos de las actividades a realizar y con lo cual se parametriza inicialmente el modelo basado en gamificación. Estas actividades deben apuntar a: i) identificar el contexto, problema y los objetivos a perseguir, ii) identificar el problemas y las partes de la negociación (coequiperos, oponentes y asuntos), iii) diseñar e implementar protocolos y estrategias de negociación y iv) replantear los protocolos y estrategias de negociación.

Los criterios matemáticos relacionados con las actividades de TD No Programadas a realizar, deben permitir la medición o dar indicadores, de las capacidades a ser demostradas por el negociador quien tomará las respectivas decisiones.

En detalle, las actividades se consolidaron en: i) el planteamiento de alternativas, ii) la captura de información, y iii) las relaciones personales. Esto, basado en premisas como que la toma de decisiones y el conocimiento son considerados la consecuencia final de un proceso de percepción, tratamiento y el almacenamiento de la información tal como se argumenta en [17]. Los procesos comunicativos (dispuestos dentro de la actividad de relaciones personales) tienen gran trascendencia para un efectivo curso de la negociación, en este sentido [18] logran sintetizar el beneficio que tienen la persuasión, el debate y la reflexión como actos para manejar el conflicto al decidir el curso de una acción.

Como trabajo futuro se plantea la consolidación de un modelo de caracterización de los procesos de toma de decisiones no programadas por medio de gamificación y agentes inteligentes, para ello se abordará una revisión sistemática minuciosa y actualizada para dar respuesta a problemas encontrados en este tipo de escenarios.

Referencias

1. Bolloju, N.: Discovering classes of decision models: a step towards discovery of decision making styles, in System Sciences. Proceedings of the Thirty-First Hawaii International Conference (1998)
2. Rodriguez, E., Pedraja, L.: Análise do impacto do processo de toma da de decisoes estratégicas sobre a eficácia das organizações públicas. Revista Innovar Journal Revista de Ciencias Administrativas y Sociales, Vol. 19, No. 35, 33-46 2248-6968 0121-5051 (2012)
3. Zachary, W., Wherry, R., Glenn, F., Hopson, J.: Decision situations, decision processes, and decision functions: Towards a theory-based framework for decision-aid design. Presented at the Proceedings Conference on Human Factors in Computing Systems, Gaithersburg, Maryland, USA (1982)
4. Wang, Y., Dong, L., Ruhe, G.: Formal description of the cognitive process of decision making. Proceedings of the Third IEEE International Conference on Cognitive Informatics, pp. 124–130 (2004)
5. Jiménez, L., Jiménez, M.: Algunos modelos de toma de decisiones. NOVUM: Revista de Ciencias Sociales Aplicadas, núm. 2: Novum N° 2 - Revista de Ciencias Sociales Aplicadas; 33 - 48 2357-4933 0121-5698 (2014)
6. . Corona, L.A.: La teoría general sobre la toma de decisiones y su aplicación al campo de la asistencia médica (III). Medisur: Revista Electrónica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos, Vol. 2, pp. 35–40 (2004)
7. Sarne, D., Elmalech, A., Grosz, B.J., Geva, M.: Less is more: restructuring decisions to improve agent search. International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 1, Taipei, Taiwan (2011)
8. Koontz, H., Weihrich, H., González, E.M.: Administración: una perspectiva global. McGraw-Hill Bogotá (1998)
9. Wang, Y., Patel, S., Patel, D., Ying, W.: A layered reference model of the brain. Cognitive Informatics, Proceedings, The Second IEEE International Conference on, pp. 7–17 (2003)
10. Rodrigues, S.A., de Souza, J.M.: A Web Tool to Analyse Negotiation Behavior. Multimedia and Ubiquitous Engineering (MUE), 5th FTRA International Conference on, pp. 183–188 (2011)
11. Hitt, M.A., Collins, J.D.: Business ethics, strategic decision making, and firm performance. Business Horizons, Vol. 50, pp. 353–357 (2007)
12. Plata, J.: Los “juegos gerenciales”: el presente de la gerencia. Econografos, Escuela de Administración de Empresas y Contaduría Pública, pp. 1–14 (2008)
13. Pruitt, D.G.: Negotiation behavior. New York: Academic Press, Inc. (2013)
14. Fisher, R., Ury, W., Patton, B.: Das Harvard-Konzept: der Klassiker der Verhandlungstechnik: Campus Verlag (2013)
15. Lopes, F., Wooldridge, M., Novais, A.Q.: Negotiation among autonomous computational agents: principles, analysis and challenges. Artificial Intelligence Review, Vol. 29, pp. 1–44, (2008)
16. Lopera, J.D., Ramírez, C., Zuluaga, M., Vanegas, J.: El método analítico como método natural. Nómadas, Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas, Vol. 25 (2010)
17. Bayani Abbasy, M.: Influence of simulation and real implementation Skills on the cognitive learning aspects. Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), IEEE 3rd International Conference on, pp. 719–724 (2012)

Modelo de actividades para la caracterización de procesos de toma de decisiones no programadas ...

18. McBurney, P., Hitchcock, D., Parsons, S.: The eightfold way of deliberation dialogue. *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 22, pp. 95–132 (2007)

¿Cómo motivar al adulto mayor durante su estimulación cognitiva con el uso de aplicaciones tecnológicas?

María Fernanda González Ross¹, Christian O. Acosta Quiroz²,
Ramón René Palacio², Joaquín Cortez¹

¹ Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Nainari,
Sonora, México

² Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Navojoa,
Sonora, México

mafer92@hotmail.com
{joaquin.cortez, ramon.palacio, christian.acosta}@itson.edu.mx

Resumen. Este estudio se realizó con el fin de conocer cómo motivar al adulto mayor durante la estimulación cognitiva con el uso de aplicaciones tecnológicas. Para esto fue necesario entrevistar a ocho participantes tanto adultos mayores como personas que están a punto de ingresar a la tercera edad. Se les realizaron preguntas sobre lo que les gusta hacer, cómo les gustaría que los premiaran, entre otras. Dichas entrevistas tuvieron una duración de 30 minutos aproximadamente. Para la evaluación fue necesario analizar cada entrevista y obtener los puntos importantes para poder llegar al prototipo final que consta de un mensaje motivador para el adulto mayor y una conexión con sus familiares felicitándolos por el logro obtenido.

Palabras claves: Estimulación, adulto mayor, interacción humano-computadora.

1. Introducción

La finalidad de toda intervención en personas mayores es la de promover la estimulación, con el fin de extender la salud y favorecer una mayor valoración de las capacidades cognitivas para conservar el autoestima y la integración social del mayor en su propio entorno [1].

En todo el mundo, y México no es la excepción, se está viviendo un fenómeno interesante que es el envejecimiento de la población, cada vez la gente vive más y aparte cada vez hay más personas mayores. Entonces esto plantea retos importantes en todos los sentidos como en lo político, económico, educativo, en salud, etc. Esto ha aumentado el interés en problemáticas asociadas a la vejez como lo son:

- El deterioro cognitivo en funciones como la atención, memoria, concentración, solución de problemas, etc.
- Las enfermedades neurodegenerativas como las demencias tipo Alzheimer y las demencias vasculares.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía [2], indica que en México se considera como adulto mayor a la persona mayor de 60 años. Este tipo de población son personas que han alcanzado madurez, los años vividos le han proporcionado la experiencia suficiente para solucionar de forma sabia cualquier situación, aunque físicamente agotado su organismo no responde igual, que en su juventud por todos los cambios que le han ocurrido. La imposibilidad de realizar actividades como las que ellos practicaban en sus años jóvenes pueden crearles complejos de inferioridad, baja autoestima, depresión, entre otros.

Estas personas llevan una vida productiva menor que la de los demás miembros de la familia, por tanto, el adulto mayor se convierte entonces en la persona inactiva dedicada a la casa y la búsqueda de los mandados después que ha dejado atrás una vida activa llena de relaciones amistosas, ha creado y formado una familia donde a él le corresponde un papel fundamental: ser la columna capaz de sustentar con sus consejos y experiencias.

Sin embargo en el ámbito de la tecnología el adulto mayor no es tomado en cuenta, porque se piensa que no son capaces de poder manejar aplicaciones, sistemas y videojuegos. Sin embargo desde hace mucho tiempo se ha señalado que los adultos mayores tienen la misma oportunidad de crecimiento, desarrollo, aprendizaje y el tener nuevas experiencias como cualquier otra etapa de vida.

Por ello, es importante considerar los cambios que presentan en el envejecimiento, como son: las pérdidas sensoriales en la visión que se traducen en la reducción del campo visual, de la capacidad para distinguir pequeños detalles, del procesamiento de información visual y ajuste a la oscuridad, así como pérdidas auditivas que redundan en la reducción de la capacidad de escuchar ciertos sonidos o distinguir ciertas frecuencias, y de igual manera cambios en la movilidad que significan tiempos de respuestas más largos, reducción en habilidades motrices finas y una mayor fatiga. También, este tipo de población presenta cambios cognitivos que implican un decremento en la atención y pérdida de memoria remota y a corto plazo. Además, los adultos mayores experimentan dificultades al usar computadoras tales como requerir mayor tiempo para ejecutar ciertas actividades y para leer instrucciones e información textual, tienen más errores, olvidan el punto de la actividad que realizan, se confunden o no entienden el lenguaje técnico, se niegan a hacer algo que piensan que descompondrá la computadora y se incomodan o avergüenzan si algo sale mal [3].

Por ello, si se pretende desarrollar aplicaciones para el adulto mayor deben considerarse aspectos tales como una guía constante a través de personajes virtuales, realimentación en la evaluación de las habilidades cognitivas, motivación después de cada ejercicio y graduar la dificultad de las actividades para mantener motivados a los adultos mayores [4].

En este estudio, particularmente nos enfocamos en uno de los aspectos anteriores que fue en la motivación para la utilización de alguna aplicación. La motivación es un aspecto importante para el adulto mayor porque si se encuentra motivado será concebida como un motor que impulsa hacia la vida, de igual manera pasa con la salud mental es la que mueve al cuerpo y además permite un razonamiento y conductas adecuadas en lo cotidiano. La motivación en el adulto mayor representa una gran energía impulsora que permite realizar cosas en la vida y disfrutarlas [4].

Para esto, es importante investigar qué factores resultan motivadores para el adulto mayor, lo cual pudo ser debido a que no se encontraron guías que evalúen la usabilidad y motivación de las aplicaciones para el adulto mayor.

En un estudio realizado por Theil, Schumacher, Adelsberger, Martin y Jäncke [5], los adultos mayores realizaron simultáneamente un entrenamiento cognitivo para mejorar su desempeño. Se realizaron veinte sesiones de 30 minutos cada una en un periodo de diez semanas, con una evaluación antes, a la mitad y después del entrenamiento. Los efectos del entrenamiento fueron evaluados con medidas de atención selectiva, asociación de pares, control ejecutivo, razonamiento, memoria, velocidad en el procesamiento de la información y ejecución de tareas motrices-cognitivas a manera de caminata y actividades de memoria. Participaron 63 adultos mayores con una edad media de 71.8 años (de 65 a 84 años), de los cuales 21 realizaron los dos entrenamientos simultáneos, 16 realizaron sólo el entrenamiento en memoria y 26 no llevaron a cabo entrenamiento alguno. Los resultados indican un progreso y mejora similar de tareas en control ejecutivo en ambos grupos con entrenamiento, esto en comparación con el grupo que no recibió entrenamiento alguno. Además, el entrenamiento simultáneo resultó en mejores logros en las tareas de asociación de pares en comparación al entrenamiento exclusivo en memoria. El entrenamiento simultáneo de capacidades cognitivas y físicas representan un concepto de entrenamiento promisorio para mejorar la ejecución de tareas cognitivas y motrices-cognitivas, ofreciendo mayor potencial en el funcionamiento cotidiano, el cual usualmente involucra múltiples capacidades y recursos, en vez de uno solo.

Como se puede notar, es posible apoyar al adulto mayor mediante entrenamiento, por lo que, la integración de mensajes motivadores en las aplicaciones serán importantes para el adulto mayor, pues ya han demostrado efectividad a la hora de querer estimular al adulto mayor, más si ese mensaje viene de parte de personas cercanas a ellos como sus familiares.

2. Metodología

Para este estudio se utilizó la metodología DesignThinking [6], la cual se basa en cinco fases: Empatizar, Definir, Idear, Prototipo y Prueba. El tipo de investigación fue cualitativa, pues los datos recolectados fueron por medio de unas entrevistas semi-estructuradas que constaban de 25 preguntas sobre gustos, actividades, sentimientos del adulto mayor.



Fig. 1. Fases de la metodología DesignThinking.

En la Fig. 1 se muestran las etapas de la metodología que se utilizó para realizar dicho estudio. Para esto se entrevistó a ocho adultos mayores de distintas partes, la duración de las entrevistas fue de aproximadamente de 30 minutos cada una, donde el adulto mayor podía expresar todo lo que pensaba con base en el tema que se le preguntaba como: qué conoce de tecnología, qué actividades realiza para entretenerse, de qué manera le gusta que se le premie entre otras. Para esto se le daba la confianza para así poder recibir la mayor información posible.

Dentro de los participantes se pudo destacar que hubo más participantes mujeres con un total de cinco. El promedio de edad del grupo fue de 63.5 años con una edad máxima de 85 años y una mínima de 60 años. Y cada participante presentaba diferentes deterioros de la vejez.

2.1. Etapas del proceso de diseño

Para realizar este estudio se tuvo que pasar por varias fases, la primera de ellas fue:

Fase 1: Entrevistas

En esta etapa se partió del problema para poder elaborar las 25 preguntas. Se construyó la entrevista basada en temas como: datos personales, vida social, pasatiempos, tecnologías, y videojuegos. Después de tener la entrevista se buscó a ocho personas mayores, que estuvieran dispuestas a contestar las preguntas se les comentaba que iba a durar aproximadamente 30 minutos eso causó un poco de molestias y varias personas se negaron a contestarlas porque comentaban que no tenían tiempo. Básicamente, este experimento fue realizado con entrevistas semi estructuradas las cuales nos ayudaron a conocer más sobre el adulto mayor y sus preferencias y así poder comprender sus gustos en cuanto los que se les motive o estimule cuando realizan determinada actividad.

Posteriormente, al tener las ocho entrevistas, se transcribieron todas las entrevistas para así poder analizar los datos obtenidos de cada participante. El siguiente paso fue a cada entrevista escrita colocar *post-it* a cada comentario que pensábamos que nos serviría o que considerábamos importante.

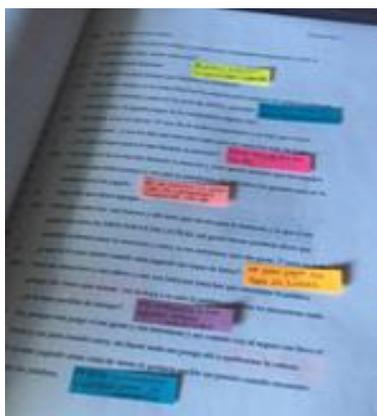


Fig. 2. Entrevista transcrita con *post-it*.

En la Fig. 2 se muestra un ejemplo de la entrevista transcrita con los comentarios o datos relevantes en un *post-it*, esto fue para ir clasificando la información que finalmente nos ayudaría a encontrar como estimular o motivar al adulto mayor. Después de eso, los *post-it* se pasaron a notas más grandes y se mezclaron con los demás *post-it* de las otras entrevistas para así poder categorizar cada comentario hecho por el adulto mayor (ver Fig. 3).

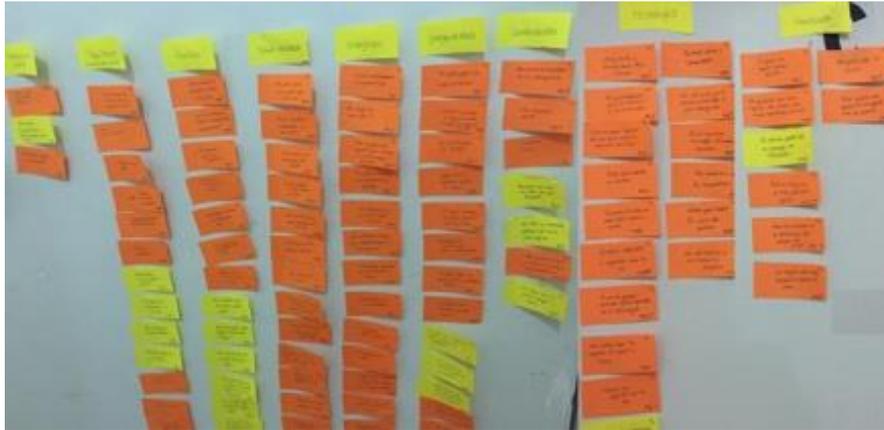


Fig. 3. Categorización de los comentarios de todas las entrevistas transcritas.

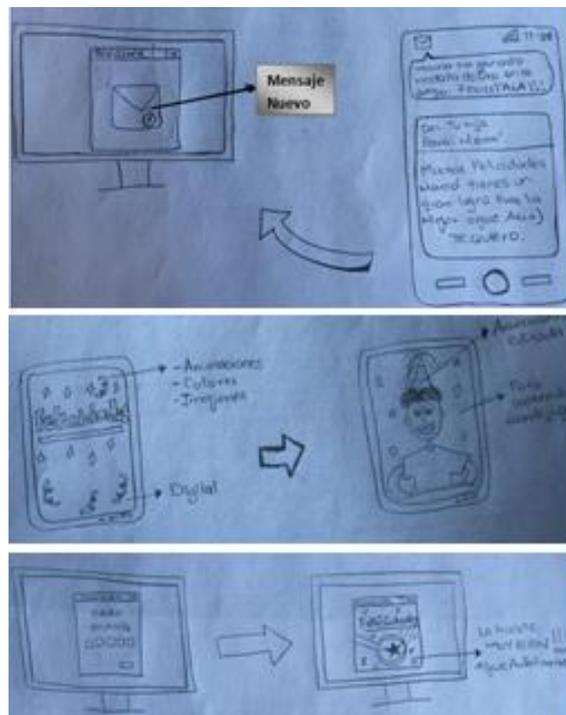


Fig. 4. Diseños basados en las respuestas dadas por el adulto mayor.

Al analizar cada comentario de las entrevistas transcritas fue necesario pensar en categorías para ordenarlos. Salieron nueve categorías llamadas: Enfermedades, Pasatiempos, Familiares, Facebook, Videojuegos, Juegos de Mesa, Sentimientos, Tecnología y Premiación.

Posteriormente, todos esos comentarios categorizados se transcribieron en una tabla en Excel para tener un orden y así fuera más fácil analizar los comentarios. Basándonos en estos resultados se construyeron varios diseños que prácticamente fueron obtenidos de las entrevistas realizadas al adulto mayor y así finalmente poder llegar a un prototipo final que cumpliera con las expectativas del adulto mayor.

Fase 2: Generar diez diseños

En esta fase, después de haber realizado las entrevistas y analizado los comentarios hechos por el adulto mayor, se generaron diez diseños basados en los resultados que se obtuvieron de las entrevistas. Los diseños fueron hechos a mano con papel y lápiz, algo sencillo pero entendible ya que esto nos sirvió para el siguiente paso. A continuación se muestran algunos en la Fig. 4.

En dicha Figura se muestran los diseños que al adulto mayor le gustaría percibir y que creen ellos que eso pudiera motivarlos para seguir haciendo uso de alguna aplicación.

Fase 3: Reducir a tres diseños utilizando las técnicas

La siguiente fase fue reducir los diseños de diez a tres. Para esto se siguió utilizando el diseño con papel y lápiz, sólo que los diseños fueron de una forma más detallada. Y se utilizaron varias técnicas como: *Sketching*, *storyboarding*.



Fig. 5. Porta retrato con el logro que obtuvo el adulto mayor.

Este diseño (Fig. 5) fue poner su logro en un porta retrato ya sea digital o normal y así el adulto mayor podrá tener su logro junto con las fotos importantes de sus familiares. Pero las desventajas que vimos en él fue que al tener varios reconocimientos iba a ocupar mucho espacio y también probablemente sus familiares ya no le iban a tomar tanta importancia como al primero. Y eso podía causar desanimo en el adulto mayor y no resultaría que siguieran utilizando tal aplicación que cuente con este tipo de reconocimiento.

2.2. Descripción del prototipo

Finalmente se llegó a un prototipo final, el cual se basó en las respuestas que proporcionaron los adultos mayores al momento de entrevistarlos.

El objetivo del estudio fue cómo le gustaría al adulto mayor que se les motivara o qué les gustaría obtener para motivarlos, la mayoría respondió que un mensaje que los incentive a seguir adelante los hará sentir muy bien. Después se analizó qué más se podría hacer para que ellos se sintieran cómodos y en confianza. Al seguir analizando las entrevistas se notó que el adulto mayor lo más importante en su vida son sus familiares y estar en contacto con ellos, pero por varias circunstancias muchas veces no es posible. Fue por eso que se pensó el diseño del prototipo y se diseñó de esta manera.

En varias entrevistas realizadas los adultos mayores hicieron comentarios como:

“Me gustaría que al tener un logro pues me felicitaran por medio de un mensaje motivador donde me digan que lo hice bien y que siga echándole ganas para así yo saber que aun puedo superarme y aprender o hacer cosas nuevas”
[Participante 3].

Esto ayudó a diseñar el siguiente prototipo que pueda ser usado en cualquier tecnología como: aplicaciones de entretenimiento, recordatorios de medicamentos, entre otras. Básicamente consistiría en que al final se les premiará con un mensaje dependiendo de la puntuación obtenida, pero siempre animándolos para que siga adelante.



Fig. 6. Prototipo final - Pantalla principal.

En la Fig. 6 se muestra como les aparecería el mensaje en la pantalla con colores del agrado del adulto mayor y considerando una letra de tamaño 16 y fuente legible.

Ahora tratando de abordar cómo se podría hacer la relación del adulto mayor con su familiar más cercano, ya que en dichas entrevistas ellos comentaban que lo más importante eran sus familiares y la relación o el tiempo que podían estar en contacto con ellos. Y fue ahí donde elaboró el diseño mostrado en la Fig. 7.



Fig. 7. Prototipo final-Segunda pantalla.

En este diseño lo que se pretende hacer es al terminar de utilizar alguna aplicación para el adulto mayor automáticamente el sistema mande un mensaje al celular del familiar poniéndolo al tanto de que su mamá, abuela, etc., ha tenido un logro en la aplicación. Posteriormente, el familiar deberá contestar el mensaje en el celular y enviarlo, este mensaje será recibido por el sistema y lo mostrará en pantalla.

El adulto mayor podrá visualizar el mensaje de su familiar, con lo que se esperaría se sienta motivado, ya que su familia estaría en contacto y al pendiente de él o ella. Esto podría ayudar a que el adulto mayor quiera seguir utilizando la aplicación y se abordarían varios factores importantes para el adulto como lo es la atención, memoria, razonamiento y planificación.

Este tipo de mensajes para las aplicaciones es posible desarrollar mediante la plataforma Unity 5 para Microsoft Windows y el Framework de Visual Studio .NET 2012. Esta aplicación deberá utilizar Servicios Web con el cual se enviarían al servidor las peticiones, ya que con dichos servicios será posible enviar información referente al adulto mayor y sus logros en la aplicación que utiliza a los familiares vía correo electrónico o incluso vía mensaje de texto (SMS). Con esto los familiares podrían realimentar al adulto mayor contestándole por la vía que haya recibido la información.

Para poder diseñar y llegar al prototipo final fue necesario analizar una y otra vez las entrevistas para tomar los puntos importantes que considera en su vida el adulto mayor y adecuarlos al diseño.

3. Conclusiones

En conclusión, este trabajo sirvió para obtener el diseño para estimular al adulto mayor a que utilice aplicaciones que pueden desarrollarse para ellos y realmente se sientan cómodos y quieran seguir las usando por mayor tiempo. Sin embargo, trabajar con adultos mayores es un gran reto ya que en esta etapa de la vida, algunos se

encuentran decaídos, desatendidos por sus familiares y eso implica un gran desánimo en el adulto mayor.

Este trabajo informa los resultados obtenidos del estudio, donde se obtuvieron nueve categorías que salieron de las entrevistas realizadas al adulto mayor. Para ello fue necesario analizar cada una de ellas para así poder categorizar de la siguiente manera: enfermedades, pasatiempos, familiares, Facebook, videojuegos, juegos de mesa, sentimientos, tecnologías, premiación. Las categorías más importantes fueron: premiación, sentimientos, tecnología, familiares, pasatiempo. Las categorías que no tuvieron mucho significado para el adulto mayor fueron la de Facebook, videojuegos, juego de mesa, y enfermedades.

La categorización de las respuestas del adulto mayor sirvió para poder tomar en cuenta todas las opiniones que el adulto mayor piensa o siente y así diseñar algo que realmente sea motivador para ellos. Se analizaron todos los diseños resultantes, haciendo comparaciones y con las mismas opiniones del adulto mayor y fue así como se llegó al diseño final, el cual resultó un mensaje motivador que los haga seguir adelante y tener el contacto con sus familiares y que ellos estén al pendiente de lo que están realizando.

Este diseño puede ser utilizado para cualquier aplicación enfocada al adulto mayor ya que sería la parte final de las aplicaciones.

Esperemos que el prototipo final que se presentó anteriormente sea de su agrado y así esto ayude a complementar aplicaciones en cuanto a cómo estimular al adulto mayor mediante el uso de mensajes de motivación. Como trabajo futuro se pretende desarrollar un prototipo de este tipo para que puedan integrarse a aplicaciones para el adulto mayor y así evaluar la experiencia de uso y usabilidad.

Referencias

1. Yuni, J.A., Urbano, C.A.: Envejecimiento y género: perspectivas teóricas y aproximaciones al envejecimiento femenino. *Revista argentina de sociología*, Vol. 6, pp. 151–169 (2008)
2. Instituto Nacional de Estadística, G.e.I.: Estadísticas sobre disponibilidad y uso de tecnología de información y comunicación en los hogares. pp. 8–17, México (2005)
3. Rute-Pérez, S., Santiago-Ramajo, S., Hurtado, M.V., Rodríguez-Fórtiz, M.J., Caracuel, A.: Challenges in software applications for the cognitive evaluation and stimulation of the elderly. *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 11, 88 (2014)
4. Rebok, G.W., Langbaum, J.B., Jones, R.N., Gross, A.L., Parisi, J.M., Spira, A.P., Kueider, A.M., Petras, H., Brandt, J.: Memory Training in the ACTIVE Study How Much is Needed and Who Benefits? *Journal of aging and health* 25, 21S-42S (2013)
5. Theill, N., Schumacher, V., Adelsberger, R., Martin, M., Jäncke, L.: Effects of simultaneously performed cognitive and physical training in older adults. *BMC neuroscience* 14, 103 (2013)
6. Steinbeck, R.: El «design thinking» como estrategia de creatividad en la distancia. *Comunicar* 19, pp. 27–35 (2011)

Umbral adaptivo para sistemas de comunicaciones ópticas inalámbricas por medio de algoritmos de agrupamiento

Juan de Dios Sánchez López, Juan Iván Nieto Hipólito,
Mabel Vázquez Briseño, Victor R. Velázque M.

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Diseño,
Baja California, México

{jddios, jnieto, mabel.vazquez, vvmejia}@uabc.edu.mx

Resumen. Sistemas basados en modulación de intensidad y detección directa tipo OOK (Conmutación de Encendido -Apagado, o del inglés OOK: On-Off Keying). Son de uso extendido en las redes fotónicas actuales debido a su sencillez y robustez pero no son los más eficientes en términos del uso del espectro. Sistemas de modulación de intensidad multi-simbólicos como M-PAM (del inglés: *M-ary Pulse Amplitud Modulation*) los cuales presentan alta eficiencia espectral han sido vistos como alternativa a formatos de modulación tradicionales, sin embargo son más complejos y en ciertos casos requieren de un umbral adaptivo en aplicaciones de comunicaciones ópticas inalámbricas (COI). Se presenta en este trabajo un método de selección de umbral que utiliza algoritmos de agrupamiento basado en las K-medias y el desempeño del uso de este umbral adaptivo en sistemas COI con M-PAM, por medio del simulador Matlab®

Palabras clave: K-medias, comunicaciones ópticas inalámbricas, umbral adaptivo.

1. Introducción

En las décadas pasadas se ha incrementado en interés en los sistemas de comunicaciones ópticas de espacio libre. Si bien son un nicho de aplicación debido a las ventajas, tales como costos relativamente bajos de instalación, no están sujetos a regulación por el uso del espectro radioeléctrico, anchos de banda comparables a los de los sistemas ópticos de fibra óptica, entre otras, pero presentan alta susceptibilidad a las condiciones atmosféricas, tales como la niebla, aerosoles, e inclusive en condiciones de cielo claro son afectados por la turbulencia óptica atmosférica [1, 2, 3]. Este fenómeno es uno de los que más restringe debido a la destrucción de la coherencia temporal como espacial del haz láser ocasionando variaciones de fase y amplitud (y por tanto de intensidad) de la señal transmitida. La turbulencia atmosférica es un fenómeno ocasionado por el calentamiento desigual de masas de aire, los que producen variaciones del índice de refracción a lo largo de la trayectoria de un enlace de COI,

produciendo variaciones de intensidad ocasionando degradación del desempeño del sistema e inclusive caída del enlace.

Este campo de estudio de las telecomunicaciones está en pleno desarrollo y se ha realizado diversos estudios e infinidad de propuestas para resolver los problemas propios de estos sistemas como son su baja disponibilidad si se le compara con otros sistemas [3, 4, 5, 7, 8]. En [5] se analiza la utilización de MPAM para aplicaciones de Comunicaciones con Luz Visible (CLV) utilizando en combinación con esquemas de modulación múltiples frecuencias ortogonales (MMFO o en inglés: Orthogonal Frequency Multiple Modulation, OFDM). El uso de señales PAM (Modulación por Amplitud de Pulso o PAM del inglés Pulse Amplitude Modulation) multisimbólicas incrementan la razón bit/s/Hz en comparación de señales que emplean Conmutación de Encendido -Apagado (OOK: On-Off Keying).

En la Fig. 1 se muestra el umbral para el caso de una señal binaria, en la cual la probabilidad de detección para el símbolo "0" y "1" son descritos por la función densidad de probabilidad que describe el canal para los símbolos binarios. Para el caso de MPAM con $M=4$ se requieren de tres umbrales para la decisión de los símbolos transmitidos (dos bits por símbolo para este caso). El umbral adecuado u óptimo puede ser determinado por medio de algunas de las diferentes técnicas de optimización, el cual es elegido de acuerdo a las condiciones del canal y tomando nuevos valores tan pronto se presenten nuevas condiciones en la señal recibida. Sin embargo las técnicas de optimización pueden requerir de evaluaciones de expresiones matemáticas que en el caso de los canales ópticos atmosféricos involucran funciones complicadas tales como la integración numérica de las funciones densidad de probabilidad (f.d.p.) lognormal, gamma-gamma, etc. que caracterizan este tipo de canales, lo que hace necesario el uso de gran cantidad de recurso computacional y de tiempo de procesamiento. Este trabajo presenta una forma de determinar estos umbrales para ser utilizados en la detección de señales multisimbólicas sin requerir cantidades excesivas de recursos de cómputo por medio del uso del algoritmo de agrupamiento K-medias.

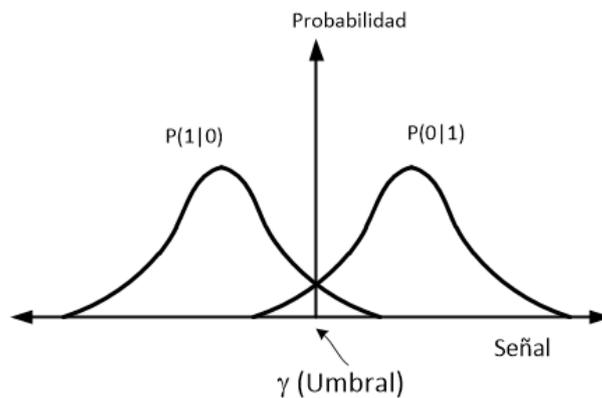


Fig. 1. Funciones de densidad de probabilidad gaussianas para los bits "0" y "1".

En la Fig. 2 se muestra la forma en que opera el umbral fijo γ_F y para un umbral adaptivo γ_A para una señal que lleva información binaria en los cambios de intensidad. En el caso de que la señal binaria este por encima de este, será considerada como un "1" binario o un "0" cuando se encuentre debajo de este. Errores ocurren cuando la

señal correspondiente al "1" afectada por el desvanecimiento cae por debajo del umbral detectando erróneamente como un "0" y el caso contrario ocurre cuando el ruido excede el umbral detectándolo como un "1", lo que es conocido como falsa alarma. Lo anterior puede ser reducido midiendo la señal y seleccionando el mejor umbral, minimizando los errores debido al uso de un umbral fijo en señales que experimentan desvanecimiento.

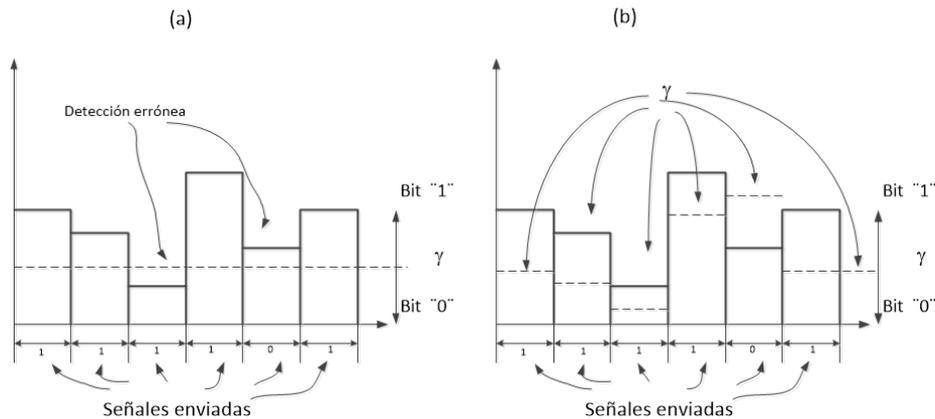


Fig. 2. Señales binarias y umbral a) Detección con umbral fijo. b) Detección con umbral adaptivo.

Este trabajo tiene como objetivo el mostrar un método de obtención del umbral adaptivo para señales MASK (o MPAM) por medio de algoritmos de agrupamiento, específicamente K-medias. Se considera que la turbulencia óptica atmosférica está dentro del régimen de turbulencia débil, (varianza de Rytov, $\sigma_R^2 < 1$). Por la utilización de estas funciones y diseñando un algoritmo para estas condiciones, se obtiene el umbral óptimo. El desempeño del sistema es evaluado por simulación, en los cuales el algoritmo estima el umbral adecuado (sub-óptimo) para las condiciones del canal en un momento determinado.

El resto del documento es organizado como sigue: En la sección 2 se describe el modelo del sistema COI basado en modulación de intensidad y detección directa con modulación OOK. y MPAM. En la sección 3 se presenta un resumen del método de detección de umbral basado en la técnica de agrupamiento en "K-means" o K-medias y en la sección 4 se presentan la implementación, los criterios utilizados para la misma y la simulación del sistema. En la sección 5 se presentan los resultados obtenidos y en la 6 se presentan algunas conclusiones y observaciones del trabajo.

2. Modelo del sistema de comunicaciones ópticas inalámbricas

Uno de los tipos más representativos de los sistemas COI es el que utiliza la modulación de intensidad (MI) y esta intensidad es convertida en una corriente eléctrica en el receptor por medio de un foto-receptor, (en los sistemas prácticos un diodo PIN o un diodo fotodiodo de avalancha) lo que es conocida como detección directa (DD). En este tipo de sistemas, la intensidad es modulada en la forma de conmutación de apagado

– encendido (OOK de las siglas en inglés de On–Off Keying). En estos receptores, el campo eléctrico de la luz recibida E_s , es convertido en el receptor directamente a corriente eléctrica por medio de un foto-receptor, tal como se explicó líneas arriba. La fotocorriente es directamente proporcional al cuadrado de E_s y por lo tanto a la potencia óptica recibida P_r , esto es:

$$i(t) = \frac{e\eta}{h\nu} E_s^2(t) = \mathcal{R}P_r(t), \quad (1)$$

donde e es la carga del electrón, η es la eficiencia cuántica, h es la constante de Planck, ν es la frecuencia óptica. El diagrama de bloques básico del sistema se muestra en la Fig. 3

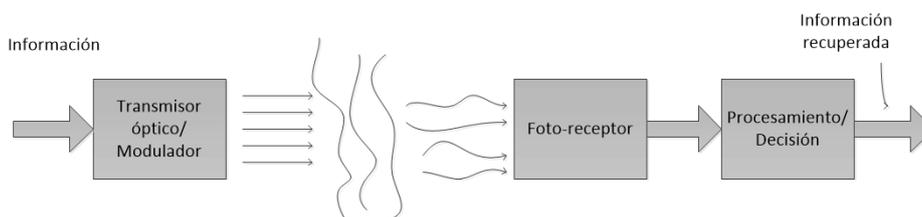


Fig. 3. Sistema de comunicaciones ópticas inalámbricas atmosférico.

Otra medida de la turbulencia es la varianza de Rytov, la cual relaciona la constante de estructura del índice de refracción, C_n^2 con la trayectoria del haz a través de la siguiente ecuación [6]:

$$\sigma_R^2 = 1.23 C_n^2 k^{7/6} L^{11/6} \quad (2)$$

con $k=2\pi/\lambda$ en donde λ es la longitud de onda y L es la distancia de la trayectoria del haz.

2.1. Umbral adaptivo para señales 4PAM

En los sistemas de comunicaciones ópticas en el espacio libre, debido a lo impredecible del canal óptico atmosférico es común utilizar señales que ofrezcan robustez ante condiciones como el desvanecimiento y la cintilación, tales como las señales OOK o MPPM [6]. Sin embargo en los sistemas de comunicaciones de fibra óptica, la utilización de señales PAM multi-simbólicas (MPAM) es una campo en plena actividad y desarrollo, las cuales presentan una mayor eficiencia del uso del ancho de banda[1], [2] . Una señal MPAM puede ser representada como:

$$S_{PAM}(t) = A_m g(t) \text{sen}(2\pi f_c t), \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad (3)$$

donde A_m , es una de la M posibles amplitudes de la señal PAM, $g(t)$ es un pulso de amplitud unitaria, f_c es la frecuencia de la señal portadora y M es la cantidad de símbolos que pueden ser representados por la señal. En la Fig. 4 se representa gráficamente la envolvente de la señal. Esta señal lleva por cada amplitud dos bits, ($M=4$ y $k=2$) y el receptor deberá de convertir estas amplitudes de las señales en una

palabra de dos bits, lo que requiere una adecuada cuantización de la señal. En el caso de canales inalámbricos, debido a la cintilación, la señal recibida experimentará variaciones en su amplitud, por lo que se requiere un continuo ajuste los niveles de cuantización o de umbrales que permitan al receptor una correcta decisión y mantenga la tasa de error de bit en niveles aceptables.

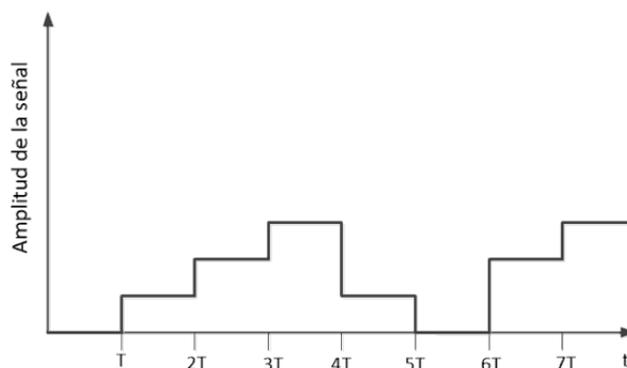


Fig 4. Envolvente de señal MPAM (M=4).

3. Método de detección del umbral

La transmisión de palabras (grupos de bits) o vectores puede ser considerada como un problema de cuantización [9]. Además, de los fundamentos básicos de la teoría de la tasa de distorsión, se conoce que la cuantización vectorial presenta un mejor desempeño que la cuantización de escalares debido a que se hace uso de la dependencia conjunta de las muestras. Sin embargo esta técnica requiere que la función densidad de probabilidad conjunta del vector de los componentes de las amplitudes, $X=[x_1, \dots, x_n]$ sea conocida, lo cual es difícil de obtener en la práctica.

Algoritmos de agrupamiento como K-media pueden ser utilizados para esto, pero debido a la velocidad de los datos transmitidos no son adecuados, pero si puede ser utilizado para la determinación de los umbrales requeridos por los subsistemas de decisión. La determinación de estos M diferentes niveles de umbral pueden obtenerse de la señal eléctrica foto-detectada [4] y debido a que el tiempo de correlación de la turbulencia óptica o cintilación es del orden de las decenas de milisegundos, la determinación de los umbrales requeridos pueden ser obtenidos por sistemas de procesamiento de señales digitales disponibles comercialmente tales como los arreglos de compuertas lógicas programables (FPGAS de las siglas en inglés *Field Programmable Gate Array*), en los cuales se ejecutaría este algoritmo.

El algoritmo de agrupamiento K-medias se basa en la obtención del cuadrado de la mínima distancia Euclídeana [9, 10, 11, 12], entre el grupo de datos y el centro del agrupamiento (centroide) $\bar{X}_k(i)$:

$$\bar{X}_k(i) = \frac{1}{M_k} \sum_{X \in C_k} X(m) \quad 1 \leq k \leq L, \quad (4)$$

donde C_k es el k-esimo agrupamiento o celda, M es el número de vectores de entrenamiento y L es el número de agrupamientos máximo.

Algoritmo de Agrupamiento

1. Selección de k datos de la señal de entrada (referencia).
 2. Determinación del centroide (umbral).
 3. Agrupar los datos (valores de la amplitud de la señal) dentro del grupo con el centroide mas cercano.
 4. Determinar el nuevo centroide de cada grupo promediando los datos agrupados en él.
 - 5 Si uno de los centroides ha cambiado, proceder con el paso 3.
-

4. Evaluación del algoritmo y experimento

La evaluación de la utilidad del algoritmo se realizó por medio de la obtención de los valores de los umbrales para una señal 4PAM afectada por fluctuaciones similares a la ocasionada por la turbulencia atmosférica u otro fenómeno que genere desvanecimiento. La señal que emula la turbulencia se obtuvo por medio de un generador de turbulencias atmosféricas y capturadas por medio de un osciloscopio de captura y digitalización, la cual presenta una estadística con contorno similar a una f.d.p. lognormal [6]. La señal de datos modulada es obtenida de un generador de datos pseudo-aleatorios y éstos modulados por medio utilizando un generador de señales de señales arbitrarias. En este caso se utilizó $\sigma_R^2 = 0.1$ y una potencia de señal óptica recibida de -30 dbm considerando una constate de conversión de potencia óptica a eléctrica $\eta = 0.3$. En la Fig. 5 se muestra el diagrama del sistema simulado en Matlab

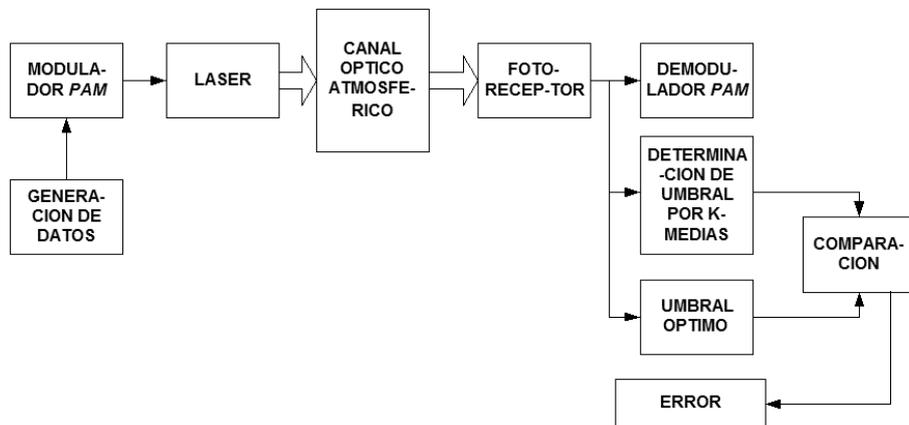


Fig. 5. Diagrama de bloques del sistema simulado.

El algoritmo determina los valores de umbral a partir del valor medio entre los centroide contiguos a partir de varias muestras de los preámbulos de cada paquete (frame) de información y actualizando cada cierto tiempo. Esto es posible debido a que el proceso lento en relación de la tasa de transmisión de bit y de esta manera establecer

en forma dinámica los nuevos umbrales. En la Fig. 6 se muestra el diagrama de constelación en el cual se muestra la determinación del centroide a partir de las muestras de la señal recibida.

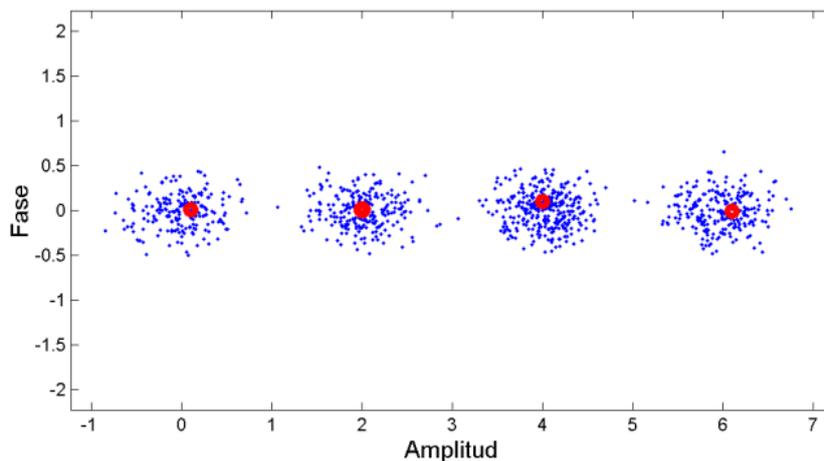


Fig. 6. Determinación de los centroides a partir de las muestras de la señal recibida.

En la Fig. 7 se muestra el error obtenido entre el umbral ideal y el establecido a partir de las mediciones y actualizado cada 10^6 bits. El error puede ser reducido actualizando con periodos menores, pudiendo ser tomado a partir de cada preámbulo del paquete de información.

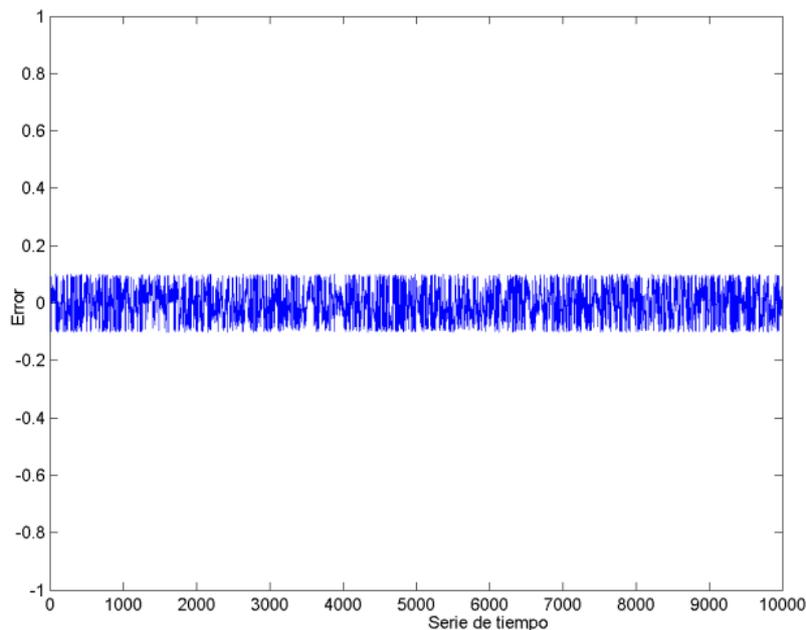


Fig. 7. Error obtenido entre el umbral ideal y el establecido.

5. Conclusiones y discusión

En este trabajo se desarrolló un sistema basado en las K-medias para la determinación de los umbrales requeridos para señales M-PAM, se simuló la estructura del sistema de comunicaciones para su simulación para la evaluación por medio del Matlab. En este trabajo específico 4-PAM fue considerado y evaluado. Debido a la naturaleza del problema, no se utiliza propiamente el algoritmo para agrupar sino para determinar los centroides dado las muestras de la señal recibida la cual tiende a fluctuar ampliamente pero de forma lenta dado el proceso. Si bien el canal óptico inalámbrico puede ser muy restrictivo, puede ser considerado para la aplicación en sistemas de comunicaciones en luz visible o en sistemas de fibra óptica. El algoritmo es capaz de determinar los centroides y los umbrales requeridos para señales fluctuantes debido al desvanecimiento.

Referencias

1. Han, L., Wang, Q., Shida, K.: Outage probability of free space optical communication over atmosphere turbulence. WASE International Conference on Information Engineering, pp. 127–130, IEEE Press, China (2010)
2. Khallaf, H.S., Morra, A.E., Shalaby, M.H., Kawasaki, Z.: Performance analysis of free-space optics systems adopting multi-pulse PPM techniques in gamma-gamma channels for thermal noise limited systems. ICTON (2013)
3. Mukai, R., Arabshahi, P., Yan, T.Y.: An adaptative threshold and channel parameter estimator for deep space optical communications. IEEE, pp. 50–54, USA (2001)
4. Wang, Z., Zhong, W.D., Yu, C.: Dynamic decision threshold and adaptive coherent detection in FSO communication system. IEEE, Singapore, (2011)
5. Shim, H.K., Kim, H., Chung, Y.C.: 20-gb/s polar RZ 4-pam transmission over 20-km SSMF using RSOA and direct detection. Photonics technology letters, Vol. 27, pp. 1116–1119, IEEE (2015)
6. Andrews L.C., Phillips, R.L.: Laser beam propagation through random media, Washington. SPIE Press. Bellingham, pp. 782 (2005)
7. Atef, M., Gaberl, W., Swoboda, R., Zimmermann, H.: An integrated optical receiver for multilevel data communication over plastic optical fiber. IEEE, (2009)
8. Kikuchi, N.: Intersymbol interference (ISI) suppression technique for optical binary and multilevel signal generation. Journal of lightwave technology, Vol. 25, pp. 2060–2068 Japan (2007)
9. Proakis, J., Digital Communications. Mc Graw Hill (2001)
10. Poteras, C.M., Mihaescu, M.C., Mocanu, M.: An optimized version of the K-means clustering. Proceedings of the 2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, Vol. 2, pp. 695–699, IEEE, Rumania (2014)
11. Teknomo, K.: K-means clustering tutorial. <http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/kMean/> (2007)
12. Yang, Y., Chen, Q., Wan, Y.: A fast near-optimum block truncation coding method using a truncated K-means algorithm and inter-block correlation. International Journal of Electronics and Communications (AEÜ) China (2010)

Construcción de un prototipo de silla de ruedas motorizada de bajo costo para personas con lesión medular

J. Andrés Sandoval Bringas, Mónica A. Carreño León,
Miguel A. Espiritu Jimenez, Israel Durán Encinas, Aarón Chávez

Universidad Autónoma de Baja California Sur,
Departamento Académico de Sistemas Computacionales, B.C.S.,
México

{mcarreno, sandoval, mespiritu, iduran, achavez}@uabcs.mx

Resumen. La atención a los discapacitados ha sido un tema de interés a las diferentes áreas de la ciencia y tecnología. El desarrollo de nuevas tecnologías enfocadas a la discapacidad, es de vital importancia ya que permite mejorar la calidad de vida y la incorporación a la sociedad. En este artículo se presenta el desarrollo de un dispositivo electrónico adaptado a una silla de ruedas motorizada, el cual permite que una persona con alguna discapacidad motora, en particular con lesión medular, pueda desplazarse dirigiendo la silla, por medio de las inclinaciones de la cabeza detectadas en un acelerómetro implantado en un auricular, y/o a través de comandos de voz, mediante una aplicación móvil desarrollada para dispositivos que cuenten con el sistema operativo Android.

Palabras clave: Discapacidad, discapacidad motriz, silla de ruedas motorizada.

1. Introducción

La movilidad es una de las actividades básicas de la vida cotidiana que reflejan la interacción del organismo humano con el entorno. Las dificultades para caminar, moverse o desplazarse están estrechamente relacionadas con la forma en la que está organizado el ambiente inmediato y si es accesible favorece la autonomía personal y la participación en la vida cívica, y es esencial para incorporarse a los servicios de educación y de salud, así como al mercado de trabajo; mientras que uno no accesible introduce barreras que limitan tanto la participación como la inclusión social de los individuos [1].

En México, 5 millones 739 mil personas declararon tener alguna discapacidad, lo que representa 5.1% de la población total [2]. La dificultad más frecuente entre la población con discapacidad es la relacionada con la movilidad, ya que el 58% de las personas de este grupo poblacional señala tener limitación para caminar o moverse [2]. No existen estadísticas oficiales acerca de la lesión medular específicamente, pero se sabe que pertenecen a esta clasificación. Éstas son lesiones graves que ocasionan una pérdida de la función motora y sensitiva por lesión en las estructuras nerviosas de la médula espinal, que pueden ocasionar fatiga y debilidad en brazos y piernas, por lo que

es necesario asistir a los pacientes diagnosticados con lesión medular, en las actividades de la vida diaria básicas, lo cual tiene una repercusión personal, social y económica para el paciente y su familia [6].

El desarrollo de nuevas tecnologías enfocadas a la discapacidad, es de vital importancia ya que el uso de algún instrumento, dispositivo o software, proporciona al individuo cierta autonomía al realizar sus actividades, mejorando su calidad de vida e incorporándolo a la sociedad. Según estadísticas de la organización mundial de la salud (OMS), en la mayoría de países de ingresos bajos o medianos, solo entre el 5% y el 15% de las personas que necesitan dispositivos y tecnologías de apoyo tienen acceso a ellos, esto se debe a una producción escasa y a los costos elevados [3]. Por otro lado, la cantidad de gente que necesita desplazarse con ayuda de algún dispositivo está incrementándose continuamente, y las inversiones que realizan las casas comerciales para la producción de materiales, tanto de hardware como de software, son mínimas, y tienen que ser las instituciones públicas o privadas quienes se encarguen de ellas [11].

Considerando lo anterior, y para contribuir en actividades que mejoren la calidad de vida de las personas con discapacidad y la inclusión social, se ha desarrollado un prototipo de silla de ruedas de bajo costo, el cual puede ser controlado a través de comandos de voz y/o con inclinaciones de la cabeza, como solución económica para personas con alguna discapacidad motora, en particular con lesión medular.

2. Marco teórico

2.1. Discapacidad

El fenómeno de la discapacidad siempre ha acompañado a los seres humanos. Las personas con discapacidad “son aquellas que tienen una o más deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales y que al interactuar con distintos ambientes del entorno social pueden impedir su participación plena y efectiva en igualdad de condiciones a las demás” [2]. Existen varios tipos de discapacidad, como los que afectan: la audición, la vista, el movimiento, el razonamiento, la memoria, el aprendizaje, la comunicación, la salud mental y las relaciones sociales [4]. En las últimas décadas, la atención a las personas con discapacidad se ha incrementado considerablemente debido a la promoción de los derechos humanos de los grupos más vulnerables y al posible aumento en el mediano y largo plazo de la presencia de discapacidad entre la población, como consecuencia del envejecimiento demográfico y la transición epidemiológica en las que se encuentra inmerso gran parte del mundo [2].

2.2. Discapacidad motriz

La discapacidad motriz es una condición de vida que afecta el control y movimiento del cuerpo. Los principales problemas que puede generar la discapacidad motriz son varios, entre ellos se pueden mencionar: movimientos incontrolados, dificultades de coordinación, alcance limitado, fuerza reducida, habla no inteligible, dificultad con la motricidad fina y gruesa, mala accesibilidad al medio físico [5]. Esta discapacidad se presenta cuando existen alteraciones en los músculos, huesos, articulaciones o medula espinal, así como por alguna afectación del cerebro en el área motriz impactando en la

movilidad de la persona. Algunas veces no es visible y en otras se requiere de apoyos especiales tales como: aparatos ortopédicos, bastón, muletas, andadera o silla de ruedas, ortesis o prótesis.

La cuadriplejía y la paraplejía son resultado de lesiones en la médula espinal. La médula espinal es el camino que los mensajes usan para viajar entre el cerebro y las diferentes partes del cuerpo y está rodeada por anillos de hueso llamados vértebras. Estos constituyen la columna vertebral. En general, entre más alta sea la lesión en la columna vertebral, más problemas de funciones experimentará la persona [6]. Dado que las primeras siete vértebras en el cuello se llaman cervicales, se le llama a la primera C1, a la siguiente C2, hasta llegar a la séptima. Generalmente las lesiones cervicales causan pérdida de las funciones en los brazos y piernas como se muestra en la Fig. 1.

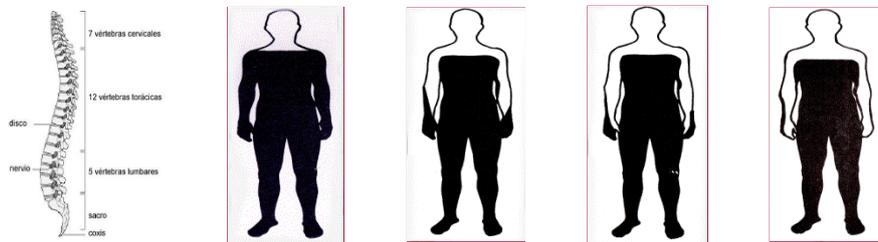


Fig. 1. Descripción de la columna vertebral, así como lesión cervical en C4, C5, C6 y C7 (de Izquierda a Derecha)

2.3. Silla de rueda motorizada

Las sillas de ruedas motorizadas están formadas por cinco elementos, la batería que alimenta el vehículo, dos motores que impulsan la silla, el sistema de transmisión y frenos incluidos en las ruedas, el circuito de control y potencia que comanda los motores y finalmente, el joystick, que permiten al usuario dirigir la silla [7],[8]. La mayoría de las sillas de ruedas motorizadas son importadas, de diferentes fabricantes, sin servicio postventa, carecen de información técnica y repuestos para su mantenimiento. Las sillas convencionales con motor tienen un mando que requiere un esfuerzo físico que no todos los usuarios pueden realizar, por ejemplo, los que no pueden mover las extremidades superiores o lo hacen con dificultad.

La silla de ruedas robotizada es una silla de ruedas comercial motorizada que se ha equipado con computadoras y sensores. La silla dispone de dos motores eléctricos de corriente continua que impulsan las dos ruedas traseras (ruedas tractoras). Las dos ruedas delanteras de movimiento libre permiten el giro de la silla. En la actualidad es posible encontrar diversos trabajos en desarrollo de prototipos de sillas de ruedas para personas con lesiones medulares [9, 10], sin embargo, la utilización de técnicas para captura de movimiento y reconocimiento de voz en conjunto no son muy utilizadas en este tipo de proyectos. Por otro lado, no funcionan correctamente debido a la cantidad de ruido que llega a haber en un ambiente real y complejo.

2.4. Comunicación bluetooth

Bluetooth es una de las tecnologías más utilizadas para conectar múltiples dispositivos entre sí, se comunica mediante un enlace de radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz, alcanzando velocidades de 720 kb/s. Esta tecnología es impulsada por Bluetooth SIG (Special Interest Group) formado por las empresas: Ericsson, Intel, Lenovo, Microsoft, Motorola, Nokia y Toshiba. Uno de los principales objetivos de estas empresas es facilitar las comunicaciones entre equipos móviles, creando así pequeñas conexiones inalámbricas que faciliten la sincronización de datos entre equipos personales [13].

3. Desarrollo del prototipo de silla de ruedas

Para el desarrollo del prototipo se utilizó una silla de ruedas comercial motorizada, la cual dispone de dos motores eléctricos que impulsan las dos ruedas traseras; las ruedas delanteras de movimientos libres permiten el giro de la silla. La construcción del prototipo incluye componentes electromecánicos, electrónicos y de software. En la Fig. 2 se pueden observar los detalles técnicos del prototipo: 1) Lector de movimientos del cuello, 2) Dispositivo Hybri-voz, 3) Sensor ultrasónico frontal, 4) Plataforma añadida, 5) Motores, 6) Sensor ultrasónico anti choques y 7) Fuente de energía.

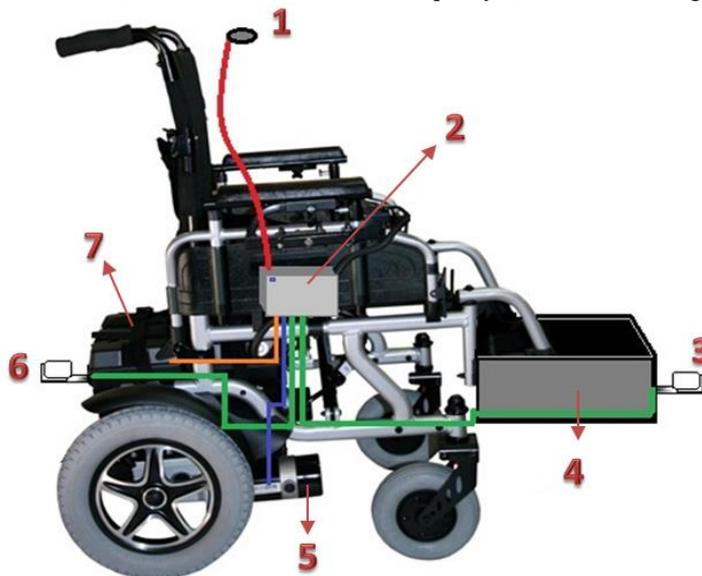


Fig. 2. Componentes del prototipo de silla de ruedas.

3.1. Componentes electromecánicos

Dentro del sistema electromecánico del prototipo se encuentran los componentes encargados de suministrar energía eléctrica y de transformar la energía eléctrica en mecánica. Las partes principales del sistema electromecánico son:

- 1) Los motores. Considerando la velocidad, autonomía, capacidad de carga e inclinación de pendientes a subir, se decidió incluir dos motores de corriente continua de 12 Volts al prototipo.
- 2) Las baterías. Para alcanzar la autonomía prevista se decidió la utilización de dos baterías para automóvil (12 Volts), para garantizar 10 horas de uso continuo.

En la Fig. 3 se pueden apreciar la interacción de los componentes electromecánicos y electrónicos del prototipo de la silla de ruedas.

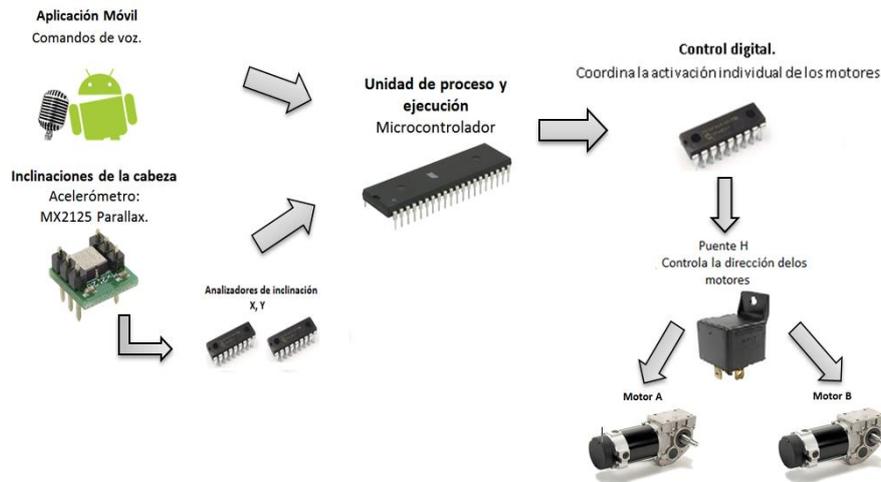


Fig. 3. Diagrama de componentes electrónicos y electromecánicos del prototipo.

También se agregó un tercer microcontrolador esclavo que recibe información del PIC maestro y envía pulsos eléctricos a un segundo módulo ubicado en la parte inferior izquierda de Hybri-voz; este módulo contiene 4 relevadores industriales de alta potencia que están configurados como puente H. Esta configuración permite que sean controlados los dos motores que mueven Hybri-voz en la dirección que el tripulante desee.

Para el control a través de movimientos de la cabeza se utiliza un acelerómetro MX2125, el cual está basado en 2 ejes, y es capaz de medir ángulos de giro, colisiones, aceleración, rotación y vibraciones en un rango de hasta ± 3 g sobre los dos. Se incorporaron dos sensores ultrasónicos HC-SR04, para detectar desniveles o la presencia de algún objeto que obstruya el tránsito, en aquellas zonas en las que no se tiene un buen ángulo de visión. Como ejemplo se puede mencionar un movimiento en reversa, cuando uno de estos sensores es activado, se envía una señal al microcontrolador y los motores son detenidos inmediatamente.

3.2. Aplicación móvil

Para lograr la comunicación con el dispositivo Hybri-voz a través de comandos de voz, se diseñó una aplicación móvil, y se incorporó un módulo bluetooth HC-05. En la Fig. 4 se puede observar la relación de los elementos que participan en la comunicación entre el módulo HC-05 y la aplicación móvil, así como la interrelación entre ellos.



Fig. 4. Elementos de la comunicación entre el módulo bluetooth y la aplicación móvil.

La aplicación móvil se diseñó para el sistema operativo Android, utilizando el reconocimiento de voz de google. En la Fig. 5 se pueden apreciar algunas interfaces de la aplicación móvil. Android incorpora bases de datos de diversos lenguajes, incluyendo el español, estos lenguajes están disponibles para descargar desde las configuraciones del sistema operativo, una vez descargado, esto permitirá realizar el análisis de voz de forma local, sin necesidad de acceder a internet. Esto permite que el procesamiento sea veloz y ejecuta las instrucciones en tiempo real.

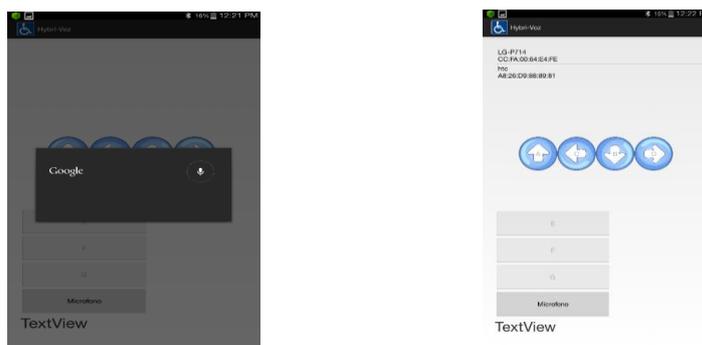


Fig. 5. Interfaces de la aplicación móvil.

La aplicación móvil incluye un conjunto de palabras y sinónimos, como instrucciones para activar el movimiento de la silla de ruedas. Cuando se detecta una palabra correcta se envía una señal vía bluetooth al módulo HC-05, para poder accionar algún movimiento, en caso de que la palabra leída no sea reconocida, el sistema simplemente la ignora y continua leyendo. Para desactivar el micrófono es necesario que el usuario le ordene: “Desactivar micrófono”, en este momento el control de la silla de ruedas pasa a ser manipulado por el acelerómetro; sin embargo el micrófono sigue leyendo instrucciones. Para volver a activar los comandos de voz es necesario que el usuario diga: “Activar micrófono”. Es importante señalar que el módulo HC-05 funciona como emisor y receptor, por lo tanto la aplicación móvil también puede recibir datos provenientes del dispositivo principal.

4. Pruebas del funcionamiento del prototipo

El prototipo de la silla de ruedas fue sometida a diversas pruebas: ascenso y descenso de rampas, detención en rampas, cambios de dirección, movimientos cortos

en espacios reducidos, largas marchas, cambios del modo de control por voz o inclinación de la cabeza, detección de obstáculos, escalones y desniveles. En la Fig. 6 se pueden observar diversas imágenes con las pruebas realizadas al prototipo de la silla de ruedas.



Fig. 6. Pruebas de uso del prototipo de silla de ruedas.

La silla de ruedas respondió favorablemente a cada una de las pruebas realizadas:

- Con respecto a los movimientos logrados fueron suaves y precisos.
- Funcionó correctamente en el ascenso y descenso de rampas, así como el detenimiento de la marcha en la propia rampa.
- Las baterías funcionaron correctamente con respecto a la autonomía prevista.
- El control por inclinación de la cabeza funcionó según lo previsto. Al inclinar la cabeza a la derecha o a la izquierda realizaba los giros correspondientes. Al inclinar la cabeza hacia adelante o hacia atrás avanzaba o retrocedía. Mientras la cabeza se mantenía en la posición recta, la silla detenía su marcha.
- El control por voz respondió correctamente a los distintos timbres de voz de las personas que utilizaron la silla.
- Los sistemas electrónicos de seguridad funcionaron correctamente ante la presencia de obstáculos, así como en la detección de escalones y desniveles.

5. Conclusiones

El desarrollo de este prototipo, se caracteriza por su bajo costo y eficiencia de funcionamiento. Los resultados obtenidos mostraron un comportamiento estable, lográndose el objetivo de manipular una silla de ruedas motorizada convencional, sustituyendo el Joystick, para ser controlada con inclinaciones de la cabeza o por comandos de voz, implementándose dispositivos de seguridad.

Todos los componentes electrónicos utilizados en este desarrollo están disponibles en el mercado local, posibilitando una sustitución rápida y económica de estos sistemas. Estos aspectos son fundamentales para el usuario habitual de este medio de movilidad.

Este prototipo, a diferencia de otros dispositivos similares, fue desarrollado con muy poca inversión, lo que lo hace de bajo costo y por consiguiente accesible para personas de escasos recursos. Además otorga la flexibilidad de cambiar el modo de manejo, con el fin de adaptarse a las diferentes necesidades de cada individuo.

Se contempla como una mejora a futuro, que la aplicación móvil pueda recolectar datos adicionales que permitan llevar un monitoreo y análisis de otros elementos que se pudieran añadir al dispositivo principal (Ejemplos: Oxigenación, Ritmo cardiaco, temperatura, estado de los motores, entre otros).

Referencias

1. Organización Mundial de la Salud: http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/
2. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI): <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx?tema=P>
3. Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/disabilities/technology/es/>
4. Centros para el control y la prevención de enfermedades (CDC): <http://www.cdc.gov/ncbddd/Spanish/disabilityandhealth/types.html>
5. Dirección General de Educación Especial: <http://eespecial.sev.gob.mx/difusion/motriz.php>
6. Lesión Medular: <http://www.lesionmedular.org>
7. Rigano, C.D., Bottani, J.P., Romano, A., Moro Zubillaga, R. Orqueda, O.: Sistema de control de una silla de ruedas motorizada para personas cuadripléjicas. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca (2000)
8. Ding, D., Cooper, R.A.: Electric powered wheelchairs. Control Systems magazine, IEEE, Vol. 25, pp. 22–34 (2005)
9. Mazo, M., Rodríguez, F.J., Lázaro, L., Ureña, J., García, J.C., Snatiso, E., Revenga, P., Jesús, G.J.: Wheelchair for Physically Disabled People with Voice. Ultrasonic and Infrared Sensor Control, Autonomous Robots, Madrid España, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 203–224 (1995)
10. Alcubierre, J., Mínguez, J., Montesano, L., Montano, L., Saz, O., Lleida, E.: Silla de Ruedas Inteligente Controlada por Voz. Universidad de Zaragoza, España, Zaragoza, España (2005)
11. Cabrero, J.: TICs para la igualdad: la brecha digital en la discapacidad. Anales de la Universidad Metropolitana, Vol. 8, No. 2, pp. 15–43 (2008)
12. Patton, B.L.: PIC Programming for the Impatient: The MikroBasic Edition. Publisher Robodyssey Systems (2005)
13. García-Serrano, A.: Redes Wi-Fi. Anaya Multimedia-Anaya Interactiva (2008)

Diseño, desarrollo y pruebas de un electrocardiógrafo virtual utilizando LabVIEW

Guadalupe Monroy Andrade, Dayra Iovana Zepeda González,
Saida Anai Ricario Vazquez, Roberto Alejandro Ledesma Camacho,
María Cosío León

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño,
México

{guadalupe.monroy, dayra.zepeda, saida.ricario, roberto.ledesma}@uabc.edu.mx

Resumen. En la actualidad los padecimientos cardiovasculares se encuentran entre las principales enfermedades, que afectan a millones de personas en el mundo; por ello la importancia de desarrollar herramientas que permitan a especialistas su detección temprana. El presente trabajo tiene como objetivo el diseño, desarrollo y prueba de un electrocardiograma (ECG) virtual, que permita la adquisición, procesamiento, despliegue y almacenamiento de la actividad cardíaca. Para su desarrollo se hace uso de diferentes herramientas de *software* y *hardware* provistas por la compañía de *National Instruments*: LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), NI myDAQ, NI ELVIS II+ *software-hardware* y NI LabVIEW *Advanced Signal Processing Toolkit*. Como resultado se logró la implementación completa del instrumento virtual y con ello, la posibilidad de trabajar con datos reales o datos simulados.

Palabras clave: Electrocardiograma, LabVIEW, NI LabVIEW advanced signal processing toolkit.

1. Introducción

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010), los problemas cardiovasculares se encuentran en la primera posición dentro de los padecimientos con mayor tasa de mortalidad en el país, debido a la falta de diagnóstico temprano y a que sólo una baja proporción de los individuos con hipertensión acude a los servicios de salud en busca de atención; por otro lado, a los que son beneficiados con servicios de salud, su tratamiento médico es de baja efectividad, como se explica en [1]. La Fig.1, muestra las epidemiologías con mayor índice de defunciones, encontradas durante el censo del INEGI 2010.

Uno de los métodos para la detección temprana de dichos padecimientos es el electrocardiograma (ECG), el cual consiste en el registro gráfico, en función del tiempo de las variaciones de potencial eléctrico, generadas por el conjunto de células cardíacas; este registro es obtenido en la superficie corporal por medio de electrodos.

El ECG es la técnica más utilizada para el estudio electrofisiológico del corazón, así como para la determinación de anomalías y padecimientos crónicos en el

funcionamiento cardíaco. Desde sus inicios el ECG ha sido interpretado a partir de la morfología de las ondas y complejos que componen el ciclo cardíaco y de las mediciones de intervalos de tiempo entre las diferentes ondas, complejos y segmentos (ver Fig. 3) [2].

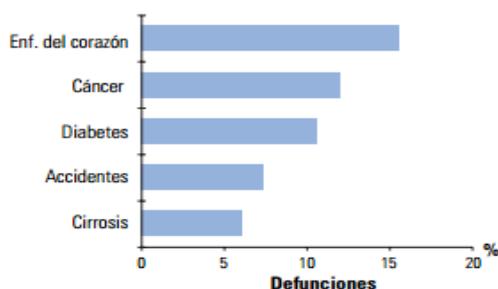


Fig. 1. Principales epidemiologías causantes de mortalidad en México [1].

Por lo anterior, es necesario el diseño de dispositivos de monitorización de señales fisiológicas que provean soluciones que permitan al personal médico realizar diagnósticos actualizados del paciente. En este trabajo se propone un instrumento virtual que incluye etapas de adquisición —no se incluye el detalle de componentes electrónicos—, tratamiento, presentación y almacenamiento de la señal del ECG.

Todos los elementos de software aquí descritos pueden utilizarse en tarjetas de desarrollo como la NI myRIO, hardware propuesto por la compañía NI LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), plataforma con herramientas que permiten el procesamiento del ECG, el electroencefalograma (EEG), el electromiógrafo (EMG), y otras señales fisiológicas [3]. NI LabVIEW se auxilia de otros elementos de hardware como el NI myDAQ, el cual es un dispositivo que brinda la habilidad para adquirir señales digitales, analógicas y de sonido; y el NI ELVIS II+, hardware de soporte que aporta instrumentos virtuales de laboratorio básicos como: osciloscopio, multímetro, fuentes de poder, entre otros.

1.1. Actividad cardíaca

Propiedades Eléctricas del Corazón

Las células del corazón ubicadas en el miocardio son llamadas miocardiocitos, éstas no requieren de estímulos externos para generar una respuesta de contracción, capacidad de contraerse y despolarizarse rítmicamente sin inervación del miocardio; esto se denomina como ritmo cardíaco.

En el tejido del corazón se distinguen dos tipos de fibras para su funcionamiento:

- *Fibras automáticas*, capaces de generar y conducir el potencial de acción, se caracterizan por establecer una respuesta lenta al impulso bioeléctrico.
- *Fibras de trabajo o auriculares*, requieren un estímulo para su excitación. Sin embargo, en algunas ocasiones pueden trabajar de manera automática, pero a un ritmo más lento que las primeras.

La diferencia de ritmo que posee cada tipo de fibra es lo que determina que a las fibras auriculares (nodo Sinusal, ver Fig. 2) se les denomine *células marcapaso* [4].

Sistema Eléctrico del Corazón

La propagación del potencial de acción cardíaco se difunde a través de un sistema de excitación y conducción. Como se observa en la Fig. 2, el sistema se compone del Haz de His, fibras de Purkinje, Nódulo sinusal y Nódulo auriculoventricular. El ciclo inicia con la despolarización en el Nódulo sinusal, que se expande por todas las fibras auriculares, conduciendo hasta el Nódulo auriculoventricular, donde la conducción del pulso es lento. Dada la geometría de las células que forman al Nódulo, después de este lapso, el pulso se propaga rápidamente hacia el resto del músculo cardíaco [5].

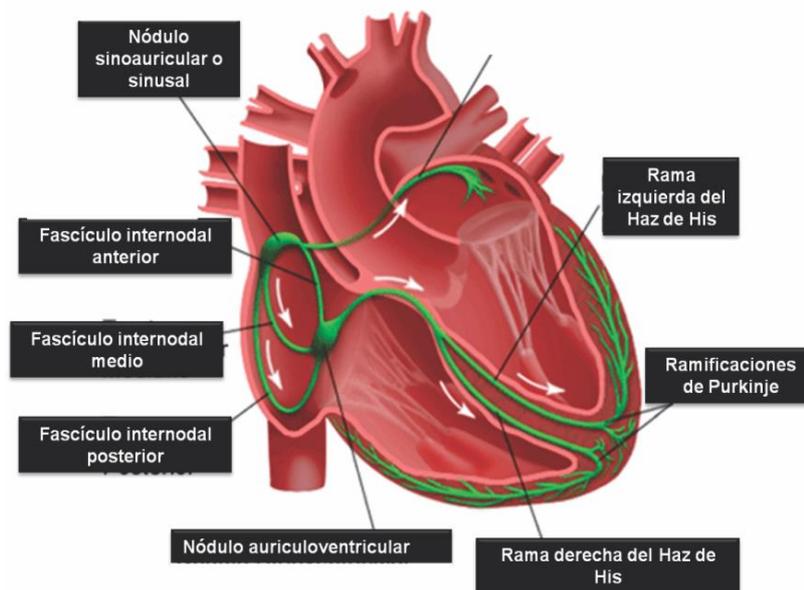


Fig. 2. Nodo Sinusal.

Potencial de Acción Cardíaco

La contracción del músculo cardíaco, es generada a partir de una respuesta eléctrica en la membrana denominada potencial de acción cardíaca –el potencial eléctrico en las fibras cardíacas oscila entre 150 y 300ms–. Este intervalo tiene importantes consecuencias funcionales, se encarga de garantizar que el músculo no pueda volver a excitarse antes de terminar la contracción cardíaca [6].

Bajo condiciones de reposo una célula cardíaca posee carga negativa en su interior y positiva en su exterior, el equilibrio es mantenido por la permeabilidad selectiva de la membrana a cationes, y posteriormente a la actividad de la bomba Potasio y Sodio (Na-K), la diferencia de cargas a ambos lados de la membrana se denomina *potencial de reposo*.

Las células del Nódulo sinusal y Nódulo auriculoventricular presentan cambios de potencial rítmicos en la membrana del tejido cardiaco, las fases en las que se desarrolla la actuación son [7]:

- *Fase de reposo inestable.* El potencial de membrana se despolariza hasta generar un potencial de acción, lo que permite el paso de cargas positivas a través de ella. Este proceso de despolarización se conoce como *potencial marcapasos o despolarización diastólica.*
- *Fase de despolarización.* Debido a la entrada de cationes provenientes del exterior de la membrana.
- *Fase de repolarización.* El potencial de acción se conduce por las fibras auriculares hasta llegar al Haz de His.

Ondas, Intervalos y Segmentos del Electrocardiograma

El electrocardiograma habitual consta de 5 ondas: Q, P, R, S y T; además de segmentos que expresan momentos de polarización y despolarización auricular y ventricular.

Como se muestra en la Fig. 3, la onda P es el resultado de la despolarización auricular, la cual tiene una amplitud de 3mV y duración máxima de 0.10 segundos. Inmediatamente después, aparecen Q, R y S, integrando el complejo ventricular, por la propagación de la onda de excitación a la musculatura de ambos ventrículos con longitud máxima de 0.08 segundos en niños y 0.10 segundos en adultos [4]. El segmento S-T, es el intervalo de repolarización ventricular con longitud máxima de 0.9 segundos en niños y 0.12 segundos en adultos; por último aparece la onda T, para la repolarización ventricular con una duración de 0.1 segundos en niños y 0.3 segundos en adultos [8].

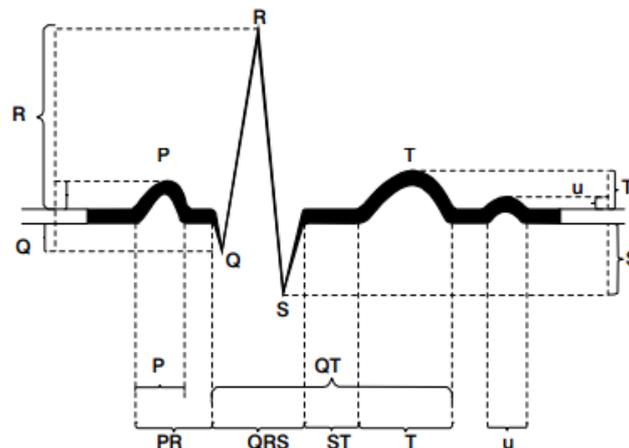


Fig. 3. Se muestra el compartimento normal de los distintos elementos de ECG [4].

En la Tabla 1, se observa que la frecuencia cardiaca disminuye en el individuo con relación al aumento de su edad hasta llegar a la edad de 10 años, donde en individuos sanos es 60-100 latidos por minuto (lat/min.) [9].

Tabla 1. Estadística de frecuencia cardiaca normal en niños y adultos [8].

PACIENTE	FRECUENCIAS
Bebés (1-11 meses)	80 -160 lat/min
Niños (1-2 años)	80-130 lat/min
Niños (3-4 años)	80-120 lat/min
Niños (5-6 años)	75-115 lat/min
Niños (7-9 años)	70-110 lat/min
Niños de 10 años y adultos	60-100 lat/min

La duración del segmento Q-T, es analizada con respecto a la frecuencia cardiaca para la determinación de padecimientos congénitos y anomalías crónicas. En la Tabla 2, se observa que la duración del segmento Q-T aumenta con respecto a la edad del paciente y la frecuencia cardíaca.

Tabla 2. Duración del espacio Q-T en relación con la frecuencia cardiaca [4].

FRECUENCIA	0-1 MES	1-6 MESES	6 M 1 AÑO	1-3 AÑOS	3-8 AÑOS	ADULTO
<60					0.16-0.18	0.17-0.21
60-80				0.14-0.16	0.15-0.17	0.16-0.21
80-100				0.13-0.16	0.15-0.16	0.15-0.20
100-120	0.10-0.12	0.10-0.14	0.11-0.14	0.13-0.15	0.14-0.15	0.15-0.19
120-140	0.10-0.11	0.10-0.13	0.11-0.13	0.12-0.14		0.15-0.18
140-160	0.09-0.11	0.10-0.12	0.10-0.12			0.17
>180	0.09	0.09-0.11				

El ECG genera un registro gráfico, que muestra el comportamiento de la actividad eléctrica del músculo cardíaco; la velocidad de registro es de 25 mm por segundo, por lo que los resultados son: a) cada cuadrícula pequeña = 1 mm; b) cada cuadro mayor = 5 mm; c) 5 cuadros mayores = 25 mm. Si 300 cuadros grandes son un minuto hay que dividir 300 entre el número de cuadros que existen entre dos latidos, sabiendo esto, se pueden calcular la frecuencia cardiaca midiendo el intervalo RR [2].

1.2. La transformada de Wavelet para el análisis del ECG

La transformada de Wavelet, vista como un proceso matemático, es una operación lineal que descompone una señal compleja en bloques elementales que aparecen en diferentes escalas o resoluciones [10].

Existen importantes diferencias entre el análisis de Fourier y el de Wavelet. La primera diferencia consiste en que la transformada de Fourier produce cambios en todo el dominio del tiempo; por otro lado, las Waveletes son locales en dos dimensiones: *Frecuencia/escala* (vía dilataciones) y en el *Tiempo* (vía translaciones); esta forma de operar es una ventaja para algunos problemas, como en el análisis de señales fisiológicas cuyo comportamiento es pseudo periódico.

La segunda diferencia, es que muchas clases de funciones pueden ser representadas por Waveletes en una forma más compacta; por ejemplo, funciones con discontinuidades y funciones con picos muy pronunciados, comportamiento que sigue la señal del ECG en la Fig. 4.

La selección de la Wavelet está fuertemente relacionada con las características de la señal de estudio; por lo tanto, el punto clave es encontrar la función base que mejor se adecue a la señal y que se identificará como *Wavelet madre*; es importante mencionar que sólo aquellas funciones que satisfagan las dos condiciones siguientes pueden ser consideradas como tal [11]: 1. Ser oscilatorio (área total igual a cero); 2. Decaer a cero rápidamente.

Para este trabajo se eligió la familia de Waveletes de Daubechies, en específico el número 6 (db6), la cual se ajusta de mejor forma a la señal generada por el ECG como se observa en las Fig. 4a, 4b, 4c, 4d.

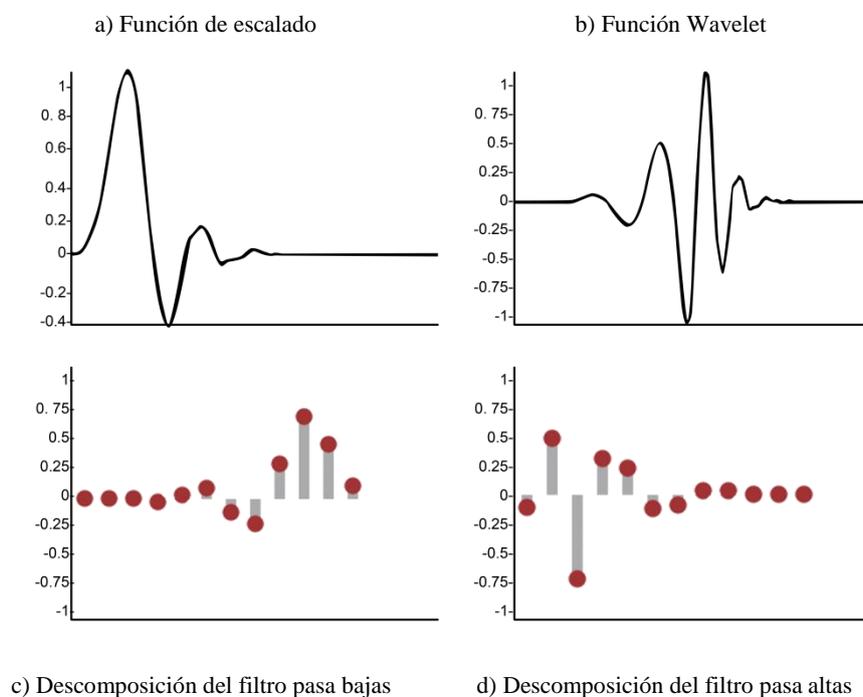


Fig. 4. Familia db6 de Waveletes Daubechies [11].

2. Diseño y desarrollo del ECG en LabVIEW

Una primera aproximación al diseño del instrumento virtual es el que se muestra en la Fig 5, en el cual se generaron los primeros resultados. Este diagrama muestra dos componentes *Express* (*Simulate ECG* y *Filter*), además de dos pantallas de despliegue de la señal ECG, una sin tratar, y la segunda ya tratada; todos ellos dentro de un *Ciclo While*. El programa antes descrito permite limpiar una señal generada mediante el *NI*

Biomedical Toolkit, la cual tiene ruido blanco y ruido de 60 Hz. Se propone el uso de un filtro pasa banda de tipología elíptica de 4to. orden. Este filtro tiene una frecuencia inferior de 0.01 Hz y frecuencia de corte superior de 50 Hz, la selección de estos parámetros se hace considerando las características de la señal ECG [12].

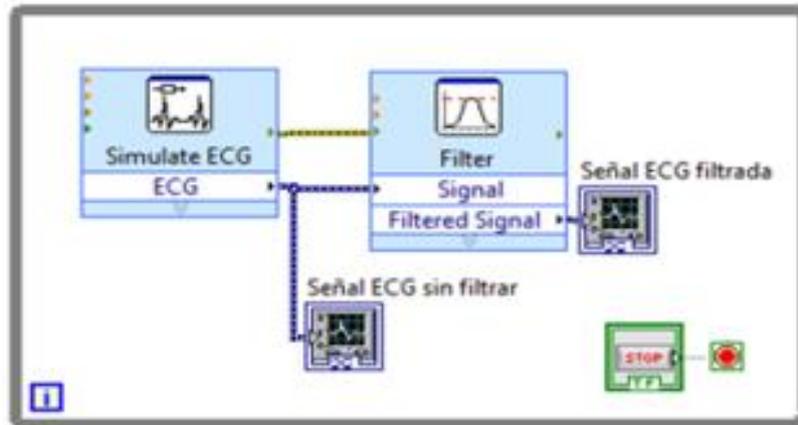


Fig. 5. Diseño de filtros. Filtro pasa banda de tipología elíptica de 4to orden.

Una vez que la señal es manipulada por el filtro pasa banda, como se observa en la Fig. 6, el ruido es eliminado y se pueden distinguir con mayor precisión los componentes básicos de una señal ECG típica. Para obtener una buena señal de ECG sin ruido y poder analizarla para su posterior diagnóstico, se implementaron componentes de LabVIEW como *WA Detrend*, el cual elimina la tendencia a partir de señales 1D, para ello se ajustan los coeficientes de aproximación a ceros.

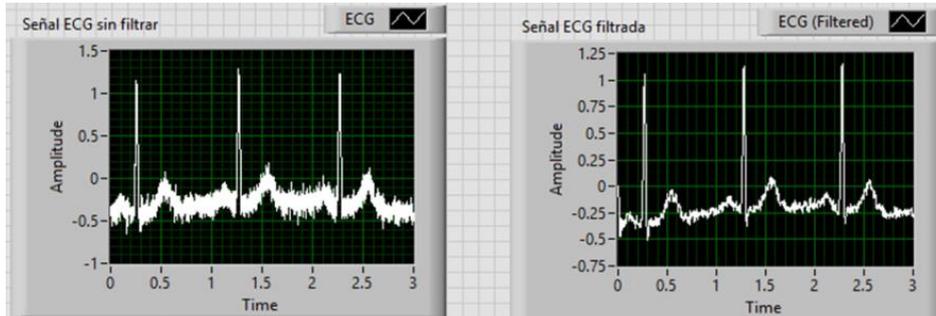


Fig. 6. Señal antes y después del filtrado.

$$Trend\ level = \frac{\log_2 2T}{\log_2 N}. \quad (1)$$

El módulo *WA Detrend* tiene la opción para seleccionar el tipo de Wavelet utilizado para el análisis (ver Fig.7); cuyos datos tienen una duración de 10 segundos y 5000 puntos en el muestreo total; por lo que el nivel de tendencia es 0.35, de acuerdo con la

Ecuación 1, descrita y justificada en [13]. Donde T, es la duración del muestreo y N, es el número de puntos de muestreo.



Fig. 7. Express Wavelet Detrend y su configuración.

Se toma el mismo dato de tendencia en este desarrollo, ya que se trata de una señal de ECG Wavelet discreta. También se implementa el módulo *Waveform Peak Detection* (ver Fig. 8), el cual encuentra los picos y valles de la señal. A éste se le agrega un *Threshold* para filtrar los picos que se desean observar.

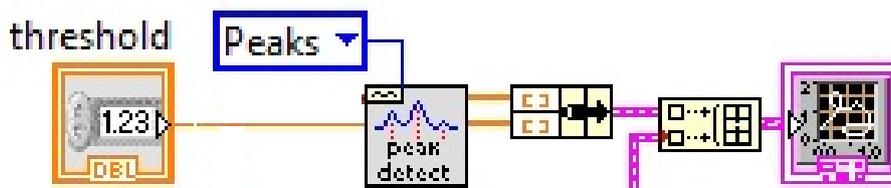


Fig. 8. Esquema de Waverform Peak Detecion.

El módulo *Express Waveform Peak Detection* se conecta a un *Bundle* (estructura que une dos o más lecturas en un solo paquete), seguido de ello a *Buid Array* (construye un arreglo con las lecturas procesadas) hasta el despliegue de la información en un *Waveform Graph*, el cual nos mostrará gráficamente los picos de la señal. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**9 muestra el diagrama de bloques para el análisis de la señal de ECG incluyendo *Express Waveform Peak Detection*.

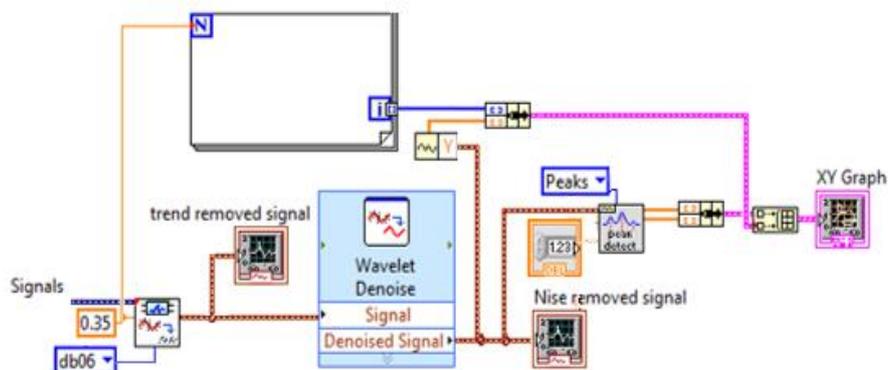


Fig. 9. Integración de Express Waveform Peak Detecion

También se implementó el módulo *Express Amplitude and Level Measurements* (ver Fig. 10), el cual realiza mediciones de tensiones de una señal y contiene las opciones mostradas en la Tabla 3.

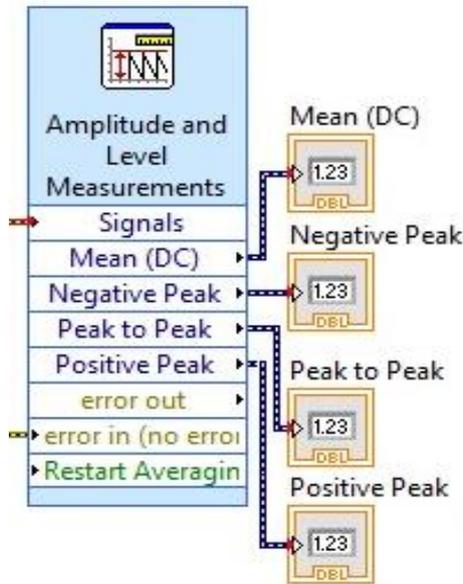


Fig. 10. *Express Amplitude and level measurements.*

Se integraron los VI generados durante el desarrollo del trabajo, obteniendo el siguiente VI final (ver Fig. 11).

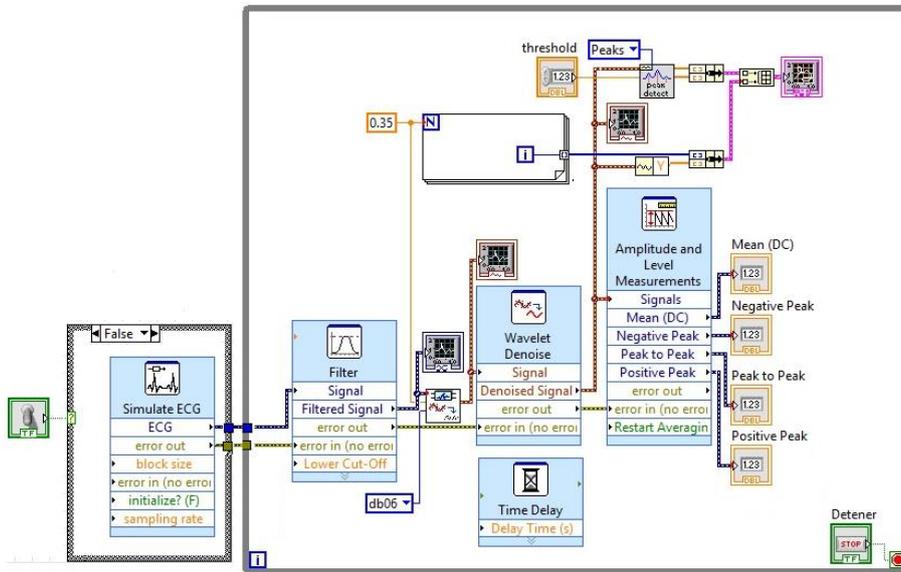


Fig. 11. Implementación final de ECG virtual.

Tabla 3. *Express Amplitude and Level measurements.*

Característica	Descripción
La media (DC)	Adquiere una medición continua de señales.
<i>RMS</i>	Calcula el valor cuadrático medio de señales.
<i>Apply window</i>	Aplica una ventana baja de los lóbulos laterales de señales.
<i>Positive peak</i>	Mide el pico más positivo de las señales.
<i>Negative peak</i>	Mide el pico más negativo de las señales.
<i>Peak to peak</i>	Mide distancia entre pico y pico.

En este diseño se observa la posibilidad de adquirir la señal a procesar de dos fuentes, para ello se implementa una estructura tipo *Case*, con las siguientes opciones: *False*, usando el módulo *NI Biomedical Toolkit*; en el cual se generó una señal de ECG con ruido blanco y ruido de 60 Hz, para simular las condiciones reales de adquisición de señales. La opción *True*, a través del módulo *DAQ Assistant*, para el sensado de la señal en tiempo real. Las etapas posteriores del sistema, consisten en el tratamiento de la señal mediante filtros, procesamiento de la señal y obtención de valores estadísticos.

2.1. Resultados

En la Fig. 12, se muestra el procesamiento de una señal de ECG con la transformada de Wavelet db06; los datos fueron obtenidos de bases de datos clínicas de la página www.physionet.org.

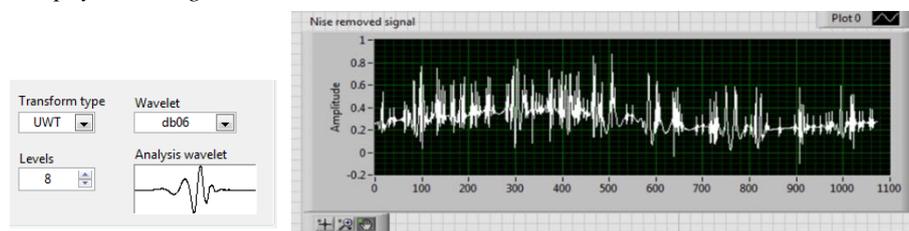


Fig. 12. Señal con el db06.

Se realizaron pruebas considerando dos configuraciones para las *Wavelet madre*, db12 en Fig. 13; db2 en Fig. 14. Las cuales no se ajustaban a la señal original.

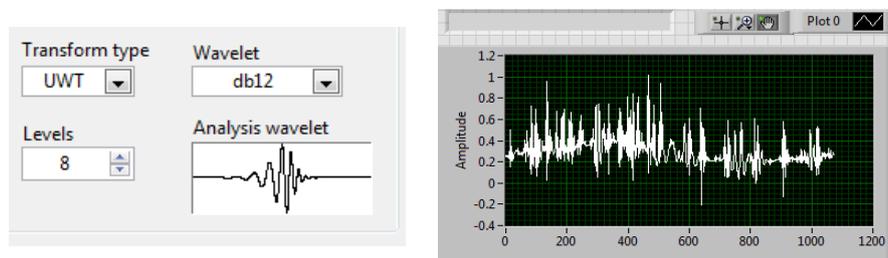


Fig. 13. Señal con el db12.

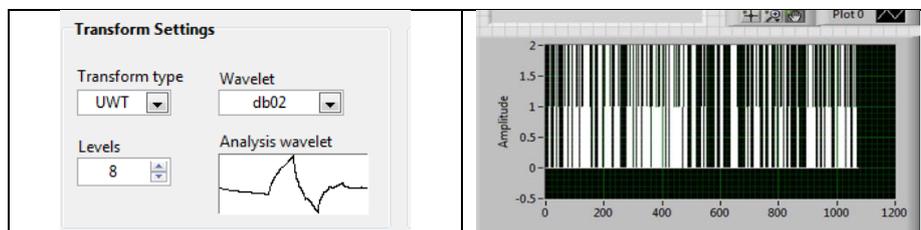


Fig. 14. Señal con el db2.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, la selección de la Wavelet, así como la configuración de parámetros como *WA Detrend*, resulta crítica al realizar el tratamiento de la señal; por lo cual, realizar experimentos para la selección adecuada de estos parámetros, incrementa de manera sustancial la posibilidad de un diagnóstico en tiempo con equipos de monitorización, que aun cuando no cuentan con una estructura robusta en los requerimientos como en equipos de diagnóstico, pueden ofrecer buena calidad en sus resultados.

3. Discusión y conclusiones

Se observó una notable mejora con la implementación de los filtros pasa alta y pasa baja, ello permitió reducir el ruido y un análisis más exacto de la señal. Al configurar el módulo *WA Detrend* con los parámetros descritos en la sección 2, se eliminó la tendencia a partir de señales 1D, ajustando los coeficientes de aproximación a ceros.

Utilizando el *Waveleret Denoise* se redujo el ruido en la señal, en tanto que, con el módulo *Express Waveform Peak Detection* se mostraron los picos característicos de una señal ECG, lo que permitió realizar un análisis detallado de la señal. En la implementación de *Express Amplitude and Level Measurements*, se obtuvo una señal con picos positivos y negativos, además de la distancia de pico a pico; todo ello permite ofrecer al profesional médico mayor precisión de las lecturas obtenidas para brindar diagnósticos certeros.

Referencias

1. Programa de Acción: Enfermedades Cardiovasculares e Hipertensión Arterial: pp. 15–20, http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/enf_cardiovasculares.pdf
2. Centeno, F.: Interpretación ECG Pediátrico. Unidad de Cardiología Pediátrica, Hospital Universitario Río Hortega, <http://www.aepap.org/apapcyl/ECG.pdf>
3. Wells L.K.: LabView Instructors's Guide. Englewood Cliffs (1995)
4. Portillo, M.: Electrocardiografía: Técnica de interpretación básica. Cardiología Infantil, Hospital Del S.E.S de Mérida (2009)
5. Park, M.: Electrocardiografía y Cardiología Pediatrica. Barcelona (2008)
6. Dubin, D.: Electrocardiografía Práctica. Madrid, Editorial Mc Graw-Hill Interamericana; 3ª Edición (1986)
7. Ward Ed., Walsh P. Capítulo 12, Electrocardiografía e introducción a las técnicas electrofisiológicas. 1ª Edición, Madrid, Editorial Mosby (1993)

8. Ararón, L., Fernández, A.: *Fisiología del Ejercicio Respuestas, entrenamiento y medición*, San José, Costa Rica (1995)
9. Park, MK: *Cardiología Pediátrica. Serie de manuales prácticos*, Madrid (1999)
10. Vidakovic, B., Mueller, P.: *Wavelets for Kids a Tutorial Introduction*. Duke University, <http://gtwavelet.bme.gatech.edu/wp/kidsA.pdf> (1991)
11. Saavedra, G., Fernández, H., Castaño, M.: *Ondeletas en ingeniería: Principios y aplicaciones. Ingeniería, investigación y tecnología*, pp. 185–190, www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432006000300005&lng=es&tlng=es
12. Liu, Y.H.: *An ECG synchronization circuit for real-time infrared imaging of epicardial coronary vessels*. Dept. of Pharmacol, Georgetown Univ. Sch. of Med., Washington, DC, USA (1993)
13. Channappa, B., Kalpana, V., Hamde, S.T., Waghmare L.M.: *Estimation of ECG features using LabVIEW*. *International Journal of Computing Science and Communication Technologies*, Vol. 2, No. 1 (2009)

Impreso en los Talleres Gráficos
de la Dirección de Publicaciones
del Instituto Politécnico Nacional
Tresguerras 27, Centro Histórico, México, D.F.
noviembre de 2015
Printing 500 / Edición 500 ejemplares