

1 110
2 010110
3 1010001001110101
4 **OBRAS COLECTIVAS**
5 **EN CIENCIAS**
6 **DE LA COMPUTACIÓN**
7 00110011010001001
8 01110111
9 110

EDITORES ACADÉMICOS

Víctor Manuel Peñeñory Beltrán

Lyda Peña Paz

Obras colectivas en Ciencias de la Computación





UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
CALI



Obras colectivas en Ciencias de la Computación

EDITORES ACADÉMICOS

Víctor Manuel Peñeñory Beltrán

Lyda Peña Paz

2018

Obras colectivas en Ciencias de la Computación

Obras colectivas en Ciencias de la Computación / Víctor Manuel Peñeñory Beltrán, Lyda Peña Paz (editores académicos).--Cali : Editorial Bonaventuriana, 2018

555 p.

ISBN: 978-958-5415-19-5

1. Interfaces con el usuario (sistemas para computador) 2. Interfaces de usuario 3. Dispositivos de interface 4. Interfaces gráficas con el usuario (sistemas para computador) 5. Sistemas interactivos de computador 6. Procesamiento de imágenes 7. Aplicaciones multimedia 8. Robótica 9. Computación I. Peñeñory Beltrán, Víctor Manuel, editor II. Peña Paz, Lyda, editor III. Tít.

004.019 (D 23)

O13

 Editorial Bonaventuriana
© Universidad de San Buenaventura

 Programa Editorial
© Universidad Autónoma de Occidente

Obras colectivas en Ciencias de la Computación

© Editores académicos: Víctor Manuel Peñeñory Beltrán
Lyda Peña Paz

Grupo de Investigación en Telemática e Informática Aplicada - GITI
Laboratorio de Investigación para el Desarrollo de la Ingeniería de Software - LIDIS

© Editorial Bonaventuriana, 2018
Universidad de San Buenaventura
Dirección Editorial Cali
PBX: 57 (1) 520 02 99 - 57 (2) 318 22 00 - 488 22 22
e-mail: editorial.bonaventuriana@usb.edu.co
www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co
Colombia, Suramérica

© Universidad Autónoma de Occidente (UAO)
Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico
Programa Editorial
Calle 25 No. 115-85, km 2 vía Cali-Jamundí
PBX: (57) (2) 318 80 00, Ext.: 11603
editorial.uao.edu.co
Cali, Valle del Cauca

Los autores son responsables del contenido de la presente obra.
Prohibida la reproducción total o parcial de este libro por cualquier medio,
sin permiso escrito de los editores.

ISBN: 978-958-5415-19-5

Tiraje: 300 ejemplares

Cumplido el depósito legal (Ley 44 de 1993, Decreto 460 de 1995 y Decreto 358 de 2000).
2018

Tabla de contenido

15 Introducción

INTERACCIÓN HUMANO-COMPUTADORA

21 *Catalina*, modelo de análisis para la detección automática de emociones en un centro de atención a clientes

DIANA CATALINA CAMARGO VILLAMIL, ALEXANDRA POMARES QUIMBAYA

37 CASETO, sistema interactivo basado en sinestesia para la enseñanza/aprendizaje de la música para niños con discapacidad auditiva entre 7 a 11 años

ALDEMAR OSORIO, RICARDO CORREA, SANDRA PATRICIA CANO

53 Propuesta de una evaluación heurística de accesibilidad para sitios web basada en la norma NTC 5854

KATERIN JIMÉNEZ, DANIELA PÉREZ, SEBASTIÁN RENGIFO,

GABRIEL ELÍAS CHANCHÍ GOLONDRINO, MARÍA ISABEL VIDAL CAICEDO

69 Evaluación del sistema de gestión de expedientes clínicos *Cerene Interactivo*

VICTOR MANUEL PEÑENORY, JOSEFINA GUERRERO GARCÍA,

JUAN MANUEL GONZÁLEZ CALLEROS

89 Arquitectura de reconocimiento multimodal del estado emocional de un niño en un contexto educativo

JAVIER ALCALÁ, ENRIQUE GONZÁLEZ

109 Traje inteligente para la orientación espacial para niños con discapacidad visual

DAVID ZAPATA, CRISTIAN JEAN PAUL DURANGO, VICTOR PEÑEÑORY

129 Aspectos teórico-prácticos para el desarrollo de interfaces de usuario tangibles -TUI-

KELLY J. CÓRDOBA QUINTANA, PAOLA J. RODRÍGUEZ, JAVIER M. REYES

143 Emotion Experience: herramienta de reconocimiento facial para medir la experiencia de usuario (UX) en niños a través de las emociones

ERIKA GUTIÉRREZ BELTRÁN, LUIS ANDRÉS DUQUE HOYOS, SANDRA CANO MAZUERA

155 Análisis del impacto de la herramienta GPCA en el desarrollo de sitios web accesibles

JOSÉ ALBEIRO MONTES GIL, SANTIAGO AGUIRRE GÁLVEZ, DIEGO FELIPE GALLEGOS RÍOS, LUIS FELIPE LONDOÑO ROJAS, VALENTINA TABARES MORALES

167 Mobile Android Apps in Ophthalmology: Systematic and Commercial Mapping

NANCY JACHO-GUANOLUISA, SANTIAGO JÁCOME-GUERRERO, JOSÉ-LUIS CARRILLO-MEDINA, ALEXANDRA CORRAL, PATRICIO ESPINEL, MAYRA SALAZAR-GRANDES, IVONE ARIAS-ALMEIDA, SERGIO ALBIOL-PÉREZ, CÉSAR A. COLLAZOS

181 MDLib: a movement detection library for motion sensors and its use on physical therapies

JUAN DIEGO PRADO, MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ, EDWIN GAMBOA, MARÍA TRUJILLO

INGENIERÍA DE SOFTWARE Y ARQUITECTURAS DE TI

193 Arquitectura base de sistemas distribuidos, fundamentado en microservicios

JOHAN TIQUE RAMÍREZ, JOSÉ LUIS ARCINIEGAS

207 Tasks workflow board: definición y representación visual del flujo de trabajo del tablero de tareas

EDWIN GAMBOA, MARYURY BARRERA DAZA

-
- 217 Fundamentos matemáticos para el modelado
y la simulación de la proliferación celular
ALBA LORENA SILVA SILVA, JULIO ARIEL HURTADO ALEGRIA, JULIÁN ANDRÉS ZÚNIGA
-
- 235 Development of IoT Systems: a domain independent approach
SANTIAGO FELIPE ARTEAGA MARTÍN, KELLY GARCÉS, NICOLÁS BONET GONZÁLEZ
-
- 245 Improving the fault tolerance in multistage interconnection networks
DIEGO BERMÚDEZ, JHON VILLARREAL, LUIS HERRERA
-
- 257 A design pattern approach for RESTful tests: a case study
MAXIMILIANO AGUSTIN MASCHERONI, EMANUEL IRRAZÁBAL
-
- 269 Analyzing the impact of information retrieval and relevance feedback
on concept location tasks. A controlled experiment
JAIRO APONTE, ANDRÉS WILCHES
-
- 285 Financial analysis of solution architectures: a user study
YEIMI PEÑA, DARÍO CORREAL, EDUARDO MIRANDA
-
- 295 Transparency as a learning strategy to teach Software Engineering
ELIZABETH SUESCÚN MONSALVE, PAOLA VALLEJO, RAÚL MAZO, DANIEL CORREA
-

INFORMÁTICA EDUCATIVA

- 309 Estudio de permanencia estudiantil desde la perspectiva de bienestar
universitario en la Universidad Nacional de Colombia
JULIÁN ROBERTO CUADRADO MONTAÑA, ELIZABETH LEÓN GUZMÁN
-
- 325 Validación de un catálogo de prácticas colaborativas
como apoyo a la enseñanza de la programación con enfoque
de género: estudio de caso – Universidad de San Buenaventura
BEATRIZ GRASS, CÉSAR COLLAZOS, MAYELA COTO
-
- 349 Prototipo basado en técnicas de realidad virtual semi-inmersiva
para la enseñanza de Cálculo Multivariado y Vectorial
en estudiantes de Ingeniería
LEIDY ANDREA RAIGOZA PALACIO, PAULO CÉSAR ALVIS RAMOS,
DIEGO ALEJANDRO SÁNCHEZ, FÁBER DANILO GIRALDO VELÁSQUEZ

367 Modelo de robot educativo en dos ambientes de construcción

PEDRO FONSECA SOLANO, IRENE HERNÁNDEZ RUIZ

383 Mooc Mobile: desafíos para el desarrollo efectivo
de la interacción y el aprendizaje colaborativo

JOSE M. DAVID, GABRIEL M. RAMÍREZ, CÉSAR A. COLLAZOS

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES,
VISIÓN POR COMPUTADOR Y MULTIMEDIA

397 Caracterización y selección de longitudes de onda
en el modelo de interacción luz-tejido orientado
al análisis de imágenes multi-espectrales de piel

CAMILO ALEJANDRO BERMÚDEZ MEJÍA, JULY ANDREA GALEANO ZEA

411 Exploración de datos espacio-temporales para la analítica
visual en sistemas urbanos

CAMILO NEMOCÓN, JOSÉ TIBERIO HERNÁNDEZ

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN Y DEL CONOCIMIENTO

425 Modelo de simulación de agentes para describir las capacidades
en investigación de las universidades colombianas

VÍCTOR ANDRÉS BUCHELI, FABIAN ANDRÉS CANO

435 NUBI: aplicación móvil adaptativa que fomenta comunidad, consulta
y comparte información de disponibilidad de servicios estudiantiles

CARLOS FELIPE PEÑA GÓMEZ, ÁNGELA CARRILLO-RAMOS, DIEGO FELIPE RAMÍREZ

SISTEMAS INTELIGENTES Y ROBÓTICA

449 *prāṇa*: Una aplicación de la inteligencia computacional para el
procesamiento de datos EEG en la clasificación de un estado mental

LEONARDO MONTES, LUIS CASTILLO, GUSTAVO ISAZA, ESTEBAN CORREA

SISTEMAS DISTRIBUIDOS Y ARQUITECTURAS A GRAN ESCALA

- 469 Agrupación automática y visualización de documentos científicos en un ambiente Big Data

FERNANDO SÁNCHEZ QUINTERO, OSWALDO SOLARTE PABÓN

SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN

- 481 Evaluación de seguridad en redes inalámbricas

CLAUDIO CASADO BARRAGÁN, CRISTIAN BARRÍA HUIDOBRO, MIGUEL FÉLIX MATA,
LORENA GALEAZZI

POSTERS

- 493 Sistema remoto electrónico incorporado para la adquisición, acondicionamiento y transmisión de señales de vibración

JUAN CAMILO MEJÍA HERNÁNDEZ, JULIAN DAVID ECHEVERRY CORREA,
ÁLVARO ÁNGEL OROZCO GUTIÉRREZ

- 503 Connect Four: Aplicación móvil del juego de mesa Cuatro en línea, usando Minimax y procesamiento de imágenes

DANIEL ALEJANDRO OTERO, LUIS ALEJANDRO ÁLVAREZ, CARLOS OMAR MÁRQUEZ,
YANA SAINT-PIEST

- 511 Anotación y búsqueda semántica de documentos científicos en ambientes de Big Data

NELSON ALEJANDRO PORTILLA HERRERA, OSWALDO SOLARTE PABÓN,
FEDERICO LÓPEZ GÓMEZ, VÍCTOR ANDRÉS BUCHELI GUERRERO

- 517 Lineamientos para un acercamiento a la implementación de DevOps para mipymes en Colombia

PABLO BEJARANO, ANDRÉS HEREDIA, HUGO ORDÓÑEZ

- 525 Método para el diseño de la estructura de contenidos en MOOC basado en la inteligencia colectiva

CARLOS CASTRO, HUGO ORDÓÑEZ, ARMANDO ORDÓÑEZ, MARIO SOLARTE

-
- 535 Developing a narrative database for spanish art starting from the end
 ANDRÉS A. NAVARRO-NEWBALL, LUIS S. OSORIO, FRANCO D. PAREDES,
 JUAN C. ARÉVALO, SANTIAGO JURI, EDGAR M. AMÉZQUITA, VICTORIA E. CONTRERAS R.
 ISIDRO MORENO SÁNCHEZ, BORJA BARINAGA LÓPEZ, DIEGO F. LOAIZA B.
-
- 545 Manikin 3DUI to Demo Spinal Column Flexion
 SERGIO VALDIVIA-TRUJILLO, ROBIN BLANCO, ALVARO JOFFRE URIBE QUEVEDO,
 LINA MARÍA PENUELA CALDERÓN, DAVID ROJAS-GUALDRON, BILL KAPRALOS
-
- 551 The use of artificial intelligence to enable unlimited quantifying solutions in hospitals and clinics. A robust foundation for creating the applications store in medicine
 FERNANDO YEPES CALDERÓN. J. GORDON McCOMB
-
- 561 Implementing a framework for WSN applications
 ERNESTO RUA, JULIO SEFERINO HURTADO, JOSÉ LUIS VILLA

Fe de erratas

La versión impresa de este libro fue publicada con dos inexactitudes, los cuales ya fueron corregidos en la versión digital:

1. En el artículo *Tasks workflow board: definición y representación visual del flujo de trabajo del tablero de tareas*, ubicado en la página 207, se cambió la filiación de los autores. De esta manera, rectificamos que Edwin Gamboa, hace parte del grupo docente de la Universidad del Valle y Maryury Barrera Daza, es docente de la Corporación Universitaria Comfacauca.
2. Se incluyó en la página 295 el artículo *Transparency as a learning strategy to teach Software Engineering*, presentado por los investigadores Elizabeth Suescún Monsalve, Paola Vallejo, que no quedó en la versión impresa.



La Sociedad Colombiana de Computación (en adelante SCo2), es una entidad sin ánimo de lucro de carácter científico representativo de las instituciones e investigadores que desarrollan sus proyectos en ciencias de la computación en Colombia. La visión de la SCo2 es ser un espacio de encuentro académico y profesional que contribuya al fortalecimiento de la informática en Colombia. La Sociedad se focaliza en el fomento de la investigación en computación con miras a aportar al desarrollo de Colombia, a partir de la generación de estímulos a la investigación, la promoción de una comunidad colaborativa, el fomento del mejoramiento de la docencia y la realización de eventos científicos.

Desde su creación en el año 2005, la SCo2 organiza en conjunto con sus instituciones afiliadas el Congreso Colombiano de Computación, el cual ha llegado a las diferentes regiones del país. En su versión número 12, del presente año, se consolida y reconoce como uno de los espacios más importantes para el encuentro de los investigadores en computación, no solo de Colombia sino en el mundo.

Introducción

El presente libro, titulado *Obras colectivas en Ciencias de la Computación*, surge a partir de las contribuciones realizadas por los autores participantes en la versión número 12 del Congreso Colombiano de Computación, el cual es un encuentro informático organizado anualmente por la Sociedad Colombiana de Computación (SCo2). El congreso es un espacio de difusión y discusión de las temáticas de mayor relevancia en el área de la computación, donde investigadores, profesores y estudiantes nacionales e internacionales discuten y comparten sus experiencias.

El objetivo principal del congreso es el fortalecimiento de la comunidad científica y las redes de investigación. En esta, la duodécima versión del congreso, fueron recibidas 186 contribuciones, de las cuales 56 fueron aceptadas como artículos completos en inglés, 10 como artículos completos en español, 10 como artículos cortos en español, 12 como artículos cortos en inglés y 7 contribuciones fueron aceptadas en modalidad de póster, siendo las 4 últimas modalidades las que hacen parte del compendio de contribuciones de esta obra científica-literaria. Es así, entonces, como el contenido de este libro se encuentra dividido en las diferentes áreas de las ciencias de la computación que fueron consideradas en el encuentro científico. Las áreas presentadas en este libro son las siguientes:

- Ingeniería de *software* y arquitecturas de tecnologías de la información (en adelante TI): en el marco de esta área fue creado un espacio con el fin de generar sinergia entre la academia y la industria para compartir y discutir nuevas ideas y soluciones a problemas concretos de la industria de *software*.
- Interacción humano-computador: esta área tiene como objetivo principal promover y difundir los avances recientes en la relación que existe entre humanos y los diferentes sistemas y plataformas interactivas, tanto a nivel académico como industrial.

- Informática educativa: el objetivo de esta área es promover el intercambio de experiencias innovadoras en educación entre académicos, investigadores, empresas y miembros de instituciones de educación superior para la identificación de retos y oportunidades en las que se puedan usar diferentes tecnologías o metodologías que permitan potencializar la apropiación de conocimientos entre los involucrados, los cuales pueden ser docentes, estudiantes o gente con interés de aprender.
- Procesamiento de imágenes, visión por computador y multimedia: esta área incluye trabajos de procesamiento digital de información visual, cuyo objetivo es divulgar los avances sobre técnicas, metodologías y tecnologías en donde el uso de la visión por computador, el procesamiento de imágenes y la multimedia, hacen parte de las ideas innovadoras que resuelven problemas de detección, procesamiento y representación de la información.
- Gestión de la información y del conocimiento: el objetivo de esta área es abrir un espacio para fomentar la discusión entre investigadores, estudiantes, académicos e industriales en temas relacionados con la información y el conocimiento, en donde la convergencia tecnológica y la facilidad para generar, compartir, procesar y analizar información, ha generado nuevos requerimientos, tecnologías y metodologías para abordar problemáticas a través de soluciones novedosas en la gestión de grandes volúmenes de información.
- Sistemas inteligentes y robótica: incluye experiencias de profesionales e investigadores del área de Inteligencia Artificial cuyo objetivo es generar soluciones mediante el uso de artefactos inteligentes que han nacido del análisis y la comprensión del comportamiento de la inteligencia humana.
- Sistemas distribuidos y arquitecturas a gran escala: esta área incluye contribuciones y experiencias de resultados de investigación y desarrollo, relacionados con aspectos prácticos y teóricos de los sistemas distribuidos con especial énfasis en soluciones de computación de alto rendimiento.
- Seguridad de la información: tiene como objetivo ofrecer un espacio para la academia, el gobierno y la industria para compartir nuevos resultados de investigación en todos los aspectos prácticos y teóricos de la seguridad informática y de las comunicaciones.
- Históricamente, la SCo2 ha tenido desde la primera versión del Congreso Colombiano de Computación en el 2005, un protagonismo importante en la selección de las diferentes áreas y temas de interés que se divulgan en el espacio ofrecido por los diferentes organizadores del evento. En la duodéc-

cima versión del congreso, los socios de la SCo2 participaron como parte del grupo del comité científico junto a investigadores reconocidos a nivel nacional e internacional, realizando una labor rigurosa de evaluación a las diferentes contribuciones, ofreciendo así un evento en donde se presentaron trabajos de investigación con un alto nivel científico y de gran impacto a la industria y a la sociedad.

Finalmente, el comité organizador, la SCo2 y las universidades participantes, extendemos nuestro sincero agradecimiento a todos los autores, especialmente a quienes socializaron los trabajos durante el congreso, a los miembros del comité de programa, científico y organizador, así como al Programa Editorial de la Universidad Autónoma de Occidente y a la Editorial Bonaventuriana de la Universidad de San Buenaventura Cali, quienes dispusieron de toda su experiencia y conocimiento para la elaboración de esta obra.



1 **INTERACCIÓN**
2 HUMANO-
3 COMPUTADORA
4 1100101010
5 001010010
6 1001010
7 101010
8 1110
9 01

(SUBMISSION 193)

Catalina, modelo de análisis para la detección automática de emociones en un centro de atención a clientes

DIANA CATALINA CAMARGO VILLAMIL
ALEXANDRA POMARES QUIMBAYA
Pontificia Universidad Javeriana.
Bogotá, Colombia

Resumen

En este artículo se expone el modelo *Catalina*, que permite realizar el análisis para identificar las emociones presentes en una llamada telefónica transcrita en idioma español colombiano. *Catalina* clasifica las oraciones emocionales según el modelo de Ekman, utilizando los algoritmos de clasificación KNN, PMI y el PMI-IR. La validación realizada concluye que el modelo de identificación de emociones tiene un 70 % de exactitud. Este modelo considera la intensidad emocional de cada oración y está basado en un conjunto de datos de entrenamiento decisivos para una clasificación correcta de emociones.

Palabras clave: análisis de emociones, centros de atención a clientes, modelo de análisis de emociones.

Introducción

El análisis de emociones permite reconocer la orientación semántica del hablante o escritor, permitiendo la identificación de emociones de acuerdo con el modelo elegido para tal propósito [1].

En la actualidad existen diversas aplicaciones y trabajos relacionados para realizar la identificación de emociones, los cuales se han aplicado en distintos contextos, como por ejemplo en cuentos infantiles, noticias, e incluso en la música [2], [3]. Por otra parte, existen trabajos enfocados a la optimización del pre procesamiento, para mejorar la precisión del análisis [4], [5]; otros orientados al desarrollo de las anotaciones del texto [1], [6] y adicionalmente, investigaciones sobre la precisión de los algoritmos de clasificación [2],[7].

En diversos sectores de la industria se utilizan herramientas de *software* destinadas a apoyar las operaciones relacionadas con la atención al cliente, por ejemplo, en el contexto de *calls centers*, se utilizan aplicaciones dirigidas a la administración de la información, comunicación con el cliente y procesos de facturación. También se consideran herramientas destinadas a realizar análisis de emociones para apoyar procesos de atención a clientes, sin embargo, en la búsqueda realizada se identifica que solo una herramienta posee componentes destinados a evaluar las emociones de los clientes, pero esta no es de *software* libre, inhibe la interconexión con otras herramientas de *software* y no se encuentra enfocada al contexto colombiano.

Por consiguiente, no se encontró una aplicación que permitiera realizar la identificación de emociones en idioma español colombiano y que considerara los aspectos propios de este idioma como regionalismos, caracteres especiales, errores de ortografía comunes, entre otras particularidades que dificultan que el análisis de emociones se ejecute correctamente.

En el presente artículo se expone el desarrollo del modelo de análisis de emociones *Catalina* que permite identificar las emociones presentes en una llamada telefónica transcrita, en el contexto colombiano, las cuales podrán ser asociadas por el usuario con características relevantes para el negocio, tales como: productos de interés para el usuario, intensidad del problema, causas de las quejas, percepciones de un producto adquirido, entre otras; para apoyar procesos de inteligencia de negocio relacionados con campañas de fidelización y mercadeo.

El artículo se encuentra dividido en las siguientes secciones: sección 1; marco teórico de análisis de emociones, la sección 2 expone el modelo de análisis de emociones *Catalina* en detalle, la sección 3 contiene la validación del modelo, y por último la sección 5 las conclusiones.

Marco teórico de análisis de emociones

El *análisis de emociones* es un proceso de minería de datos que utiliza el procesamiento de lenguaje natural para identificar las emociones de acuerdo con el

modelo de emociones que se seleccione [1]. Dentro de los más significativos se encuentra el modelo de Ekman, que es uno de los modelos más utilizados y se compone de seis emociones básicas: tristeza, alegría, ira, miedo, disgusto y sorpresa [6]. Otro de los que se encuentra en los trabajos relacionados es el modelo OCC (Ortony / Clore / Collins), incluye 22 categorías de emociones entre las cuales se encuentran: feliz-para, sentimos-para, resentimiento, regodeo, esperanza, miedo, miedos confirmados, alivio, decepción, orgullo, autorreproche, aprecio, reproche, gratitud, cólera, gratificación, remordimiento, gusto, desagrado, vergüenza, admiración y lástima [5].

Otro de los modelos utilizados es el modelo circunflejo de emociones de Russell, el cual es un modelo bidimensional donde se encuentran ocho emociones distribuidas de forma equitativa en las dos dimensiones. La dimensión horizontal evalúa desde lo agradable o positivo hasta lo desagradable y negativo, mientras que la dimensión vertical se encuentra la activación elevada y baja que hace énfasis en la intensidad de la emoción, entre otros [2], [8].

Los sistemas que realizan el análisis de emociones no se ejecutan sobre los datos de entrada directamente, requieren una representación simplificada de los datos y por lo tanto un pre procesamiento para limpiar el ruido de los datos de entrada y así obtener el texto de manera estructurada. El pre-procesamiento en el texto se puede realizar a través de la aplicación de diferentes técnicas que realizan la extracción de características, dentro de las cuales se encuentran:

- División de *tokens*: el texto se divide en tokens que representan palabras, oraciones o párrafos. Este proceso se denomina *tokenización* y se realiza de acuerdo con el límite que separa una palabra, oración o párrafo de sí mismo. Por ejemplo, para una oración se almacena separadamente sus palabras, considerando el espacio como carácter separador; para las oraciones se utilizan los signos de puntuación como carácter separador (,;).
- *Stopwords*: realiza la búsqueda y eliminación de palabras que generan ruido como signos de puntuación (.,:;), caracteres especiales (%&\$) y artículos (el, la, los, las) entre otros.
- *Stemming*: permite obtener la raíz o *stem* de una palabra, eliminando sus terminaciones con el objetivo de unificar términos. Por ejemplo, los términos: recomendable, recomendamos, recomendar, recomendación, son reemplazados por su raíz *recomend* [9].
- Lematización: se utiliza para unificar términos, en este caso reemplaza cada palabra por otra que no contiene conjugaciones, grados y género de

la palabra. Por ejemplo, las palabras jugamos, jugaste, jugó se reemplazan por jugar [10].

- *Part of Speech*: asigna la categoría léxica de cada palabra y es utilizado debido a que, de acuerdo con la etiqueta, se puede determinar si refleja una acción. El conjunto de categorías puede variar dependiendo del idioma y estas se encuentran inmersas en cada palabra, por ejemplo, en español las categorías léxicas que existen son verbos, adverbios, sustantivos y adjetivos [6].

Posterior a la ejecución de las características descritas previamente, es necesario realizar la clasificación emocional de cada oración existente en el texto. Esta clasificación se realiza por medio del reconocimiento de entidades relevantes. Dentro de las estrategias para realizar este reconocimiento se encuentran:

- Bolsa de palabras (BOW): la bolsa de palabras o unigrama básico, es la categorización basada en el tema y la representación básica más utilizada en los documentos. El texto es representado como una *bolsa de palabras*, donde en un vector se indexan todos los términos en el vocabulario y se sitúan pesos en cada posición para expresar la relevancia [6], [4].
- N-gramas: los n-gramas se definen como secuencias de palabras que se utilizan para establecer las características importantes a través de la captura de patrones sintácticos de texto. En un N-grama convencional ($n > 1$), donde n corresponde al número de palabras a considerar, los últimos $n-1$ palabras son vistas como *información histórica de un texto*, capturando dependencias a corta distancia entre palabras [11], [4].

Después del pre-procesamiento, se requiere de algoritmos que puedan categorizar el texto dentro del modelo de emociones seleccionado. A continuación, se detalla la clasificación de los algoritmos:

- Algoritmos supervisados: también llamados técnicas de aprendizaje supervisado, se utilizan para entrenar los clasificadores por medio de un conjunto de datos, con el objetivo de asignar la emoción o emociones a las cláusulas y oraciones. Este conjunto de datos es más conocido en el análisis de emociones como *corpus*.
- Los algoritmos de aprendizaje supervisado utilizan gran cantidad de datos con el objetivo de encontrar interrelaciones entre las palabras y oraciones, extrayendo características que permitan clasificar una oración dentro de una emoción. Estos algoritmos, a través de un modelo, predicen las emociones de acuerdo con los datos contenidos en *corpus*. Algunos de los modelos

identificados son *Support Vector Machine* (en adelante SVM), *Naïve Bayes* (en adelante NB), *Hidden Markov Model* (en adelante HMM), *Decision Trees*, entre otros [2], [6], [7].

- Algoritmos no supervisados: o técnicas de aprendizaje no supervisado, se utilizan para encontrar estructuras en los datos que no cuentan con etiquetas de emoción asignadas. Algunos de los algoritmos no supervisados son los de *clustering* [12].

Análisis de emociones en centros de atención a clientes

Los centros de llamadas o *calls centers* se describen como lugares de trabajo donde el lenguaje y la comunicación son fundamentales. La interacción con el cliente se realiza telefónicamente y los agentes de servicio deben tener la disposición, paciencia y rapidez para atender a cada cliente con una buena calidad en el servicio [9], [13].

Debido al crecimiento exponencial de la información y a la necesidad de utilizar los datos que se recolectan por los diferentes canales, se requiere de sistemas que permitan el procesamiento y análisis de la misma, con el objetivo de extraerla correctamente. En el contexto de los *calls centers*, se busca a través de estos sistemas la optimización de las tareas de los agentes de servicio y el almacenamiento de datos no estructurados durante la operación.

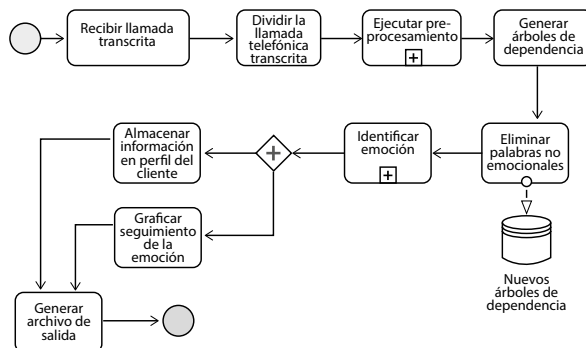
Identificar emociones a partir de grabaciones de voz, tiene dificultades como: la falta de fiabilidad del canal, el volumen en el que se expresa el cliente, capacidad de almacenamiento, regionalismos, identificación de lo expresado por el cliente y por el agente de servicio, entre otras. Por lo anterior, el análisis de emociones en el texto puede mitigar algunas de estas dificultades y aportar información relevante para la gestión del personal del centro y adicionalmente, generar información útil a otras áreas de la organización, como mercadeo y ventas.

Modelo *Catalina* para el análisis de emociones

Catalina clasifica las emociones presentes en una llamada telefónica según el modelo de Ekman, contemplando las siguientes emociones: tristeza, alegría, ira, miedo, disgusto y sorpresa.

La Fig. 1 presenta el detalle del proceso llevado a cabo por *Catalina* durante el análisis de la llamada. A continuación, se explica la entrada, análisis de la llamada y salida del modelo.

Fig. 1
Modelo de análisis de emociones *Catalina*



Entrada: la tarea de recepción de llamada transcrita es una tarea de tipo *recepción*, y consiste en la validación de ingreso de una llamada telefónica transcrita, que solo debe contener la interacción realizada por el cliente.

Análisis de la llamada

Las tareas iniciales del modelo como división de la llamada telefónica, pre procesamiento, generación de árboles de dependencias y eliminación de palabras no emocionales, fueron definidas a partir de las necesidades de los algoritmos de clasificación, los cuales requieren que las oraciones hayan sido filtradas y tengan características como tokenización, representación a través de árboles de dependencia, entre otras.

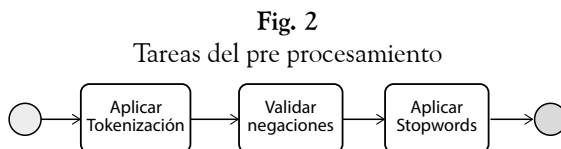
División de la llamada telefónica transcrita

Como su nombre lo indica, realiza la división de la llamada telefónica transcrita. La segmentación de la llamada se realiza en tres secciones: inicio, desarrollo y desenlace. La primera sección denominada *inicio* contiene el saludo, la presentación del agente de servicio y la comprobación de la información del cliente. La segunda sección corresponde al *desarrollo*, en este se localiza la recepción de quejas y reclamos, oferta de productos y servicios, entre otras. Por último, el *desenlace*, donde se ubica la despedida de ambas partes y se identifica el estado emocional del cliente.

Ejecutar pre-procesamiento

El pre procesamiento recibe como *entrada*, cada una de las oraciones identificadas en el proceso de división de la llamada telefónica transcrita que, a este punto, está de forma estructurada. Su función principal, es la ejecución de filtros que eliminen palabras que incluyen ruido.

La Fig. 2 presenta las tareas que se realizan al interior del pre procesamiento como son tokenización, validación de negación e identificación de *stopwords*.



Las tareas de aplicación tokenización y *stopwords*, se encuentran explicadas en el marco teórico de este artículo. Por otro lado, la validación de negaciones es una tarea de pre procesamiento que fue necesario agregar debido a que afecta la clasificación de la emoción. Esta es realizada por medio de la etiqueta asignada por el *Part of Speech*, donde cada palabra contiene su estructura sintáctica, para este caso, la etiqueta que evidencia la negación está definida por “neg”.

Generar árboles de dependencia

Esta tarea, permite representar por medio de una estructura de árbol, diferentes expresiones gramaticales mediante una disposición jerárquica implícita en los tokens de las oraciones textuales presentes. Los árboles a través de sus ramas, permiten describir la estructura sintáctica de oraciones en términos de dependencias entre palabras. La parte superior del árbol o el padre, determina el comportamiento de la relación.

Eliminar palabras no emocionales

La eliminación de palabras no emocionales tiene como objetivo principal podar los nodos superiores del árbol de dependencia y mantener las ramas bajas que contienen información emocional. Para eliminar los nodos superiores se aplican un conjunto de reglas que permiten conservar la información relevante. Es importante resaltar que las reglas son aplicadas por cada uno de los árboles de dependencia, donde cada uno de estos corresponde a una oración.

A continuación, se explican brevemente:

- Regla de la palabra “pero”: la regla de la palabra “pero” consiste en conservar únicamente las palabras posteriores a la aparición de la palabra “pero” en una oración. Esto debido a que la parte anterior a esta palabra implica oposición y no debe ser tenida en cuenta. Por ejemplo, la oración “fue un poco complicado, pero nos divertimos”, en este caso el árbol de dependencias mantendrá “nos divertimos”.
- Regla de la palabra “mientras”: la palabra “mientras” es una conjunción subordinada que significa que la parte posterior a esta palabra es un comple-

mento de la oración, por lo cual se mantendrá únicamente la parte previa. Por ejemplo, la oración “todos estaban contentos mientras estaban en el parque”, el árbol de dependencias solo contendrá la estructura de “todos estaban contentos”.

- Regla de eliminación de palabras no emocionales: establece la eliminación de palabras que no contengan contenido emocional, las cuales, para ser definidas, se utilizan las fuentes de información WordNet-Affect, SentiWordNet y set de regionalismos construido en este proyecto.

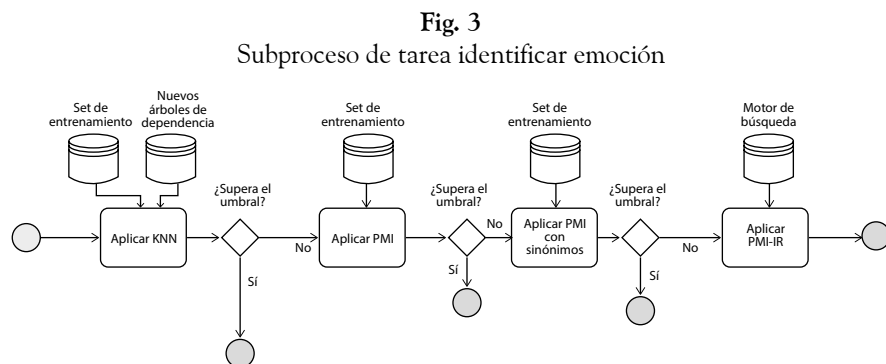
El resultado de la aplicación de la regla *Eliminación de palabras no emocionales*, son oraciones expresadas en términos de árboles de dependencia, donde sus ramas sólo conservan contenido emocional según la definición de las fuentes descritas anteriormente.

Identificar emoción

El modelo contempla una tarea específica para realizar el análisis de emociones que es el componente principal y se encuentra identificada por la tarea denominada *identificar emoción*.

La tarea *identificar emoción* se ejecuta por oración, donde cada una se encuentra representada como un árbol de dependencia. El resultado será la clasificación de cada oración dentro de una de las seis emociones de Ekman. El modelo de emociones Ekman fue seleccionado debido a que, no se encontraron fuentes de datos de entrenamiento disponibles con formato de otros modelos de emociones. Como se observa en la Fig. 3, esta tarea tiene un subproceso que contiene los algoritmos de clasificación de emociones utilizados y los diferentes conjuntos de datos.

Se especifica cada uno de los algoritmos del sub proceso.



Cada algoritmo de clasificación contiene un umbral de aceptación que permite definir si la clasificación realizada tiene un nivel aceptable de confiabilidad. El umbral está definido en términos de porcentaje y puede ser parametrizable por el usuario según el contexto y las necesidades que tenga.

- *K-nearest neighbors (KNN)*: este algoritmo utiliza un conjunto de datos ya entrenado y desarrollado por Saima Aman (2007), construido a partir de 173 entradas de blogs web en el idioma inglés. Este conjunto contiene un total de 15 205 oraciones que se encuentran etiquetadas dentro del modelo de emociones de Ekman [2]. Con el objetivo de realizar la ejecución del KNN (por sus siglas en inglés), el set de entrenamiento fue tratado de manera que cada oración se estructuró como un árbol de dependencia.

Para el desarrollo de este proyecto, se realizaron modificaciones en el algoritmo, con el objetivo de evaluar la similitud de cada árbol de dependencia, de la llamada telefónica transcrita, y los árboles de dependencia entrenados con el conjunto de datos de Aman. Para realizar este análisis, por cada una de las similitudes se agregan un porcentaje de exactitud.

Por cada similitud entre cada oración de la llamada y el set de entrenamiento, se asigna un porcentaje de acuerdo con su cumplimiento. La primera similitud hace referencia al número de caracteres en los que coinciden; y la segunda de acuerdo con su categoría gramatical, por ejemplo, si el árbol de dependencia de la llamada tiene como verbo “jugar” y adjetivo “mucho”, se valida si dentro de los árboles de dependencia entrenados se encuentra esta misma estructura y palabras. De acuerdo con la similitud que se encuentre, el algoritmo asignará un valor porcentual.

El algoritmo KNN se ejecuta por cada árbol de dependencia entrenado y se toma el valor KNN de similitud más alta. Si este valor es superior al umbral mínimo establecido, se define la emoción del árbol de dependencia entrenado con el que se obtuvo dicho valor. Si el valor no cumple con el umbral de similitud mínima, se aplica el próximo algoritmo de clasificación.

- *Pointwise Mutual Information (PMI)*: el algoritmo PMI (por sus siglas en inglés) permite conocer la probabilidad de que cada palabra dentro de la oración se encuentre dentro del conjunto de datos entrenados y de esa forma, definir la emoción. Para conocer la probabilidad, cada palabra dentro de la oración es evaluada. Para calcular el algoritmo PMI se utiliza la siguiente ecuación:

$$(1) \quad PMI(E, W) = \log \frac{(\# \text{oraciones con Emoción } E \text{ que contiene la palabra } W)}{(\# \text{total de oraciones que contiene } W)}$$

Donde E , corresponde a cada una de las seis emociones de Ekman y W , a cada una de las palabras que se encuentran en una oración.

Se selecciona la emoción con el valor PMI más alto. Si este valor supera el umbral mínimo definido por el usuario, la oración analizada (“servicio bueno”) se clasificará con dicha emoción; de lo contrario se volverá a analizar la oración con el siguiente algoritmo.

- *Pointwise Mutual Information con sinónimos (PMI - SIN)*: el algoritmo PMI con sinónimos opera de igual forma que el algoritmo PMI. La diferencia radica en que, en este algoritmo, además de buscar las palabras en las oraciones en el conjunto de datos entrenado, también se buscan los sinónimos de dichas palabras. Para validar los sinónimos se realiza una consulta de los synsets de cada palabra de la llamada telefónica en la fuente de datos WordNet.

De la misma manera que en los algoritmos previos, este también tiene en cuenta un umbral definido por el usuario. Si el valor resultante supera este umbral, se elige la emoción que tenga la mayor probabilidad; de lo contrario, se ejecuta el algoritmo PMI-IR.

- *Pointwise Mutual Information – Information Retrieval (PMI - IR)*: el algoritmo PMI-IR (por sus siglas en inglés) es una derivación del algoritmo PMI, por lo cual, se basa en los mismos principios. Es un algoritmo de co-ocurrencia que, en vez de utilizar las fuentes de información, usa un motor de búsqueda, en este caso es el buscador Ecosia. El PMI-IR tiene en cuenta un umbral definido por el usuario. Si el valor resultante supera este umbral, se elige la emoción que tenga la mayor probabilidad, de lo contrario, se indica que la oración queda en estado “No definido”.
- *Almacenar información en el perfil del cliente*: por cada llamada que se ingrese, el sistema creará un registro que contiene ID del cliente, del agente de servicio y el de la llamada. Adicionalmente, el sistema almacena la emoción o emociones detectadas en la llamada telefónica transcrita.

Salida

Debido a la cantidad de información que se encuentra en una llamada telefónica, es necesario proporcionar herramientas que permitan analizar de forma textual y gráfica la información resultante del modelo de emociones *Catalina*. A continuación, se proporciona información detallada de estas tareas:

- *Graficar seguimiento de la emoción*: el objetivo de graficar el seguimiento de la emoción, es validar los cambios de emoción que se presentan a través de las tres secciones de la llamada telefónica.

- *Generar archivo de salida*: la tarea de generación del archivo de salida, corresponde a un archivo de texto que contiene el paso a paso del proceso con sus respectivas entradas y salidas por medio textual. Dentro de esta información también se encuentra la identificación de la emoción de cada oración y el algoritmo donde se superó el umbral definido por el usuario. Esto permitirá el análisis de los datos facilitando encontrar información relevante para la organización.

Herramientas de desarrollo y fuentes de información

El modelo propuesto fue implementado a través de una aplicación Java, donde se integraron diferentes componentes *software* especializados en el procesamiento de la información. A continuación, se enumeran las herramientas utilizadas:

- *Lematización*: el proceso de lematización de verbos se encuentra soportado por un modelo para la búsqueda y definición de los infinitivos. La herramienta utilizada fue TreeTagger junto con la adición del modelo para el idioma español denominado spanish-utf8.par [15].
- *Árboles de dependencia*: la generación se implementó utilizando la librería OpenNPL; una herramienta para el procesamiento de lenguaje natural basada en modelos estadísticos, desarrollada por la universidad de Stanford. Los árboles de dependencia en español se generan con el modelo denominado spanishPCFG.ser.gz [16].

Adicionalmente, se utilizaron cuatro conjuntos de datos que se encontraban originalmente en inglés, pero que para el desarrollo de este trabajo se adecuó al idioma español. A continuación, se mencionan:

- *WordNet*: base de datos léxica en idioma inglés desarrollada por la Universidad de Princeton. Esta contiene diferentes estructuras sintácticas, dentro de las cuales se pueden encontrar sustantivos, verbos, adverbios y adjetivos [11]. Debido a que originalmente Wordnet se encuentra en inglés, se realizó un trabajo de traducción al español de la versión de Wordnet 1.6.
- *WordNet-Affect*: recurso lingüístico desarrollado por Strapparava que permite la representación léxica de estructuras con sentido afectivo. Esta base de datos léxica se encuentra desarrollada con base a la información contenida en la versión del WordNet 1.6. La versión de WordNet-Affect utilizada para la descarga es la WN-affect 1.1. Esta base de conocimiento no indica qué polaridad o emoción contiene cada palabra, únicamente indica cuáles de las palabras en el WordNet contienen un sentido afectivo [1].

- *SentiWordNet*: recurso léxico en inglés utilizado para realizar análisis de sentimientos, donde a cada una de las palabras del WordNet se le asigna una polaridad entre positivo, negativo y neutro. La versión descargada fue la 3.0, la cual valida la versión del WordNet 3.0, razón por la que puede proporcionar información diferente al WordNet-Affect. Para el desarrollo de este proyecto sólo se seleccionaron palabras que tuvieran polaridad positiva o negativa, debido a que son las que proporcionan un enfoque emocional.
- *Regionalismos*: debido a que en la ejecución de este trabajo no se identificó una fuente de datos que permita deducir cuáles de los regionalismos colombianos contienen alguna polaridad o emoción asociada, se solicita a un grupo de seis personas realizar la anotación de emociones de palabras que hacen alusión a regionalismos basados en consultas realizadas en motores de búsqueda. Los regionalismos utilizados son aquellos donde al menos tres personas concordaron con la emoción.

Por ejemplo, las palabras *achantado*, *mamado*, *acusetas*, *aguafiestas*, *alzado*, *ardido* y *arepazo*, son estructuras gramaticales entendibles por personas de nacionalidad colombiana o por personas de otros países que compartan estos regionalismos.

El conjunto de datos utilizados correspondía, en su mayoría, a una aplicación *stand-alone*. Sin embargo, en el desarrollo de este trabajo se realizó la migración de esta información a una base de datos PostgreSQL para optimizar el tiempo de procesamiento de la información.

Validación del modelo *Catalina*

El modelo de análisis de emociones *Catalina*, también fue validado dentro de un entorno real. La empresa que suministró la información necesaria para este caso de estudio, es una empresa de *software* con 27 años de trayectoria, que proporciona soluciones enfocadas a la administración de nómina y recursos humanos de otras empresas. Esta empresa brindó algunas llamadas telefónicas recibidas en su departamento de servicio técnico.

El caso de estudio se realizó con el ingreso de once llamadas telefónicas transcritas en donde el modelo encuentra un total de 220 oraciones - emociones. Las oraciones definidas para realizar la identificación de emociones, fueron aquellas en las cuales tres personas definieron la misma emoción.

Un total de 200 oraciones, no se incluyeron porque las tres personas que asignaron la emoción por oración, no compartieron la misma clasificación. Los resultados obtenidos en este caso de estudio se evaluarán a través de métricas

que son calculadas a través de la matriz de confusión, la cual se puede observar en la Fig. 4.

Fig. 4
Matriz de confusión caso de estudio

Emociones/ frases	Alegría	Miedo	Sorpresa	Furia	Tristeza	Desagrado	No definido
Alegría	49	0	0	1	1	8	11
Miedo	0	3	0	0	1	1	2
Sorpresa	0	0	3	0	0	0	0
Furia	0	0	0	4	0	1	4
Tristeza	0	0	0	0	9	2	4
Desagrado	0	0	0	0	0	9	0
No definido	1	0	2	0	6	22	76

Como se observa en la Fig. 4, se encuentra la etiqueta “No definido”, la cual representa las oraciones que fueron identificadas como *emocionales* por el modelo *Catalina*, pero no superaron el umbral mínimo para ser clasificadas dentro de una emoción específica. En este caso, 66 oraciones fueron clasificadas como *No definidas* por el modelo y en el proceso manual.

Se identifica que el modelo tiene un índice de precisión del 70 %. Así mismo se encuentra el análisis de precisión para cada emoción del modelo de Ekman, donde se analiza que éste tiene una alta precisión para identificar oraciones con contenido emocional asociado a las emociones alegría, sorpresa y desagrado. En cuanto a la identificación de la emoción tristeza, el modelo presenta una precisión media. La identificación de emociones asociadas a miedo y furia, en el modelo *Catalina*, tiene la menor precisión.

También se refleja que el modelo *Catalina* tiene una alta exhaustividad para las oraciones asociadas a las emociones de miedo, alegría y furia. Una exhaustividad media para las emociones sorpresa y tristeza. El valor más bajo de exhaustividad se presenta con la emoción de desagrado.

El análisis del Valor F (F-Measure), que representa una medida del equilibrio entre la precisión y la exhaustividad, indica que el modelo *Catalina* presenta un buen desempeño al analizar oraciones con contenido emocional asociado a alegría y sorpresa; y uno medio con contenido emocional asociado a miedo, furia y tristeza. El más bajo desempeño se presenta con la emoción de desagrado.

Conclusiones y trabajo futuro

Este trabajo contiene el modelo de análisis de emociones *Catalina* que permite el estudio y detección de emociones en idioma español colombiano dentro del contexto de *call centers*. Los resultados del análisis de la llamada telefónica permitirán identificar las emociones presentes en cada cliente durante las diferentes fases de la llamada telefónica transcrita, proporcionando una herramienta que posibilita a los agentes de servicio, supervisores, área de mercadeo y área de tecnología tener mayor información y gestionar de forma efectiva sus labores.

A través de los resultados del modelo propuesto, la organización podrá identificar los productos que más emociones positivas y negativas generan en sus clientes, y de esta manera tomar decisiones que conduzcan a prestar un mejor servicio u ofrecer un mejor producto.

Los resultados del modelo *Catalina* también pueden ser insumo en el análisis del segmento de clientes que presenten mayores emociones negativas, de esta forma es posible enfocar campañas de mercadeo con el objetivo de mejorar la imagen de la compañía en estos sectores.

Según el caso de estudio, el modelo de análisis de emociones *Catalina* presenta un porcentaje de precisión del 70 %. Alta precisión en la identificación de oraciones con contenido emocional asociado a sorpresa, desagrado y alegría. Alta exhaustividad en la detección de las emociones *miedo*, *alegría* y *furia*.

Como trabajo futuro, se debe realizar el análisis y búsqueda de múltiples emociones dentro de una oración en el contexto de *call center* y validar el impacto que este cambio podría tener sobre el modelo de análisis de emociones *Catalina*.

También se contempla la implementación del reconocimiento de entidades para que el modelo de análisis *Catalina* reconozca de forma automática clientes, hora de atención, problema particular, producto asociado entre otros.

Referencias

- [1] C. Strapparava y R. Mihalcea, "Learning to Identify Emotions in Text", ACM Symp. Applied Computing, pp. 1556 -1560, 2008.
- [2] M. Kim y H. C. Kwon, "Lyrics-based Emotion Classification using Feature Selection", 23rd IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2011.

- [3] S. Deng, D. Wang, X. Li, G. Xu, "Exploring user emotion in microblogs for music recommendation" the Expert Systems with Applications, New York, USA, 2015.
- [4] S. Chaffar y D. Inkpen, "Using a Heterogeneous Dataset for Emotion Analysis in text", Proceedings of the 24th Canadian conference on Advances in artificial intelligence, pp. 62-67, 2011.
- [5] H. Binali, C. Wu y Vidyasagar Potdar, "Computational approaches for emotion detection in text," 4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies, Dubai, 2010, pp. 172-177.
- [6] H. He, J. Jin, Y. Xiong, B. Chen, W. Sun y L Zhao, "Language Feature Mining for Music Emotion Classification via Supervised Learning from Lyrics", the Third International Symposium, ISICA, Wuhan, China, 2008.
- [7] J. Li y F. Ren, "A Hybrid Approach for Word Emotion Recognition," IEEE transactions on electrical and electronic engineering", p. 11, 2013.
- [8] P. Turney, "Crowdsourcing Aword-Emotion Association Lexicon," Computational Intelligence, Volumen 29, Number 3, 2013. [9] E. Pons, LM. Braun, MG. Hunink y JA. Kors, "Natural language processing in radiology: A systematic review," RSNA Radiology, vol. 279, pp. 329-343, 2016.
- [10] VV. Asch, W. Daelemans "Prepositional Phrase Attachment in Shallow Parsing," International Conference RANLP, p. 12-17, 2009.
- [11] P. Nie, X. Zhao, L. Yu, C. Wang, Y. Zhang, "Social Emotion Analysis System for Online News," in Web Information System and Application Conference (WISA), 2015 12th, 2015, pp. 43-48.
- [12] A. Agrawal and A. An, "Unsupervised Emotion Detection from Text Using Semantic and Syntactic Relations," 2012 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, Macau, 2012, pp. 346-353.
- [13] A. Balahur, R. Mihalcea y A. Montoyo, "Computational approaches to subjectivity and sentiment analysis: Present and envisaged methods and applications," the Computer Speech and Language, 2014.
- [14] S. Aman, S. Szpakowicz, "Identifying Expressions of Emotion in Text," 10th International Conference, pp. 196-205, 2007.
- [15] C. Cordero y M. Francisco, "Adaptación de una herramienta de procesamiento de lenguaje natural para el etiquetado de sentimientos y el análisis de lenguaje en español," Loja - Ecuador, 2015.

(SUBMISSION 29)

CASETO, sistema interactivo basado en sinestesia para la enseñanza/ aprendizaje de la música para niños con discapacidad auditiva entre 7 a 11 años

ALDEMAR OSORIO

RICARDO CORREA

SANDRA PATRICIA CANO

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Buenaventura

Cali, Colombia

Resumen

En este proyecto se estudia la implementación de un sistema interactivo que sirva como una herramienta de apoyo a las actuales metodologías de enseñanza en las aulas de clases especializadas en la educación orientada a niños con necesidades educativas especiales por problemas de audición, para facilitar la tarea de aprender acerca de música a los niños con discapacidad auditiva, cuyas edades oscilan entre 7 y 11.

Para la construcción del sistema interactivo se sigue una metodología, la cual comienza analizando factores como la relación que hay entre los colores y el sonido que se genera en muchos casos, debido a una condición conocida como sinestesia y a lo largo del proyecto se explora, cómo esta relación no solo es

una condición mental, sino también que se puede demostrar mediante hechos matemáticos, científicos o físicos que estos dos componentes, sonido y color, tiene mucho que ver entre sí y dicha relación puede ser manejada como un método de enseñanza práctico y útil.

Palabras clave: discapacidad auditiva, niños sordos en la música, educación, musicoterapia, sinestesia, diseño centrado en el usuario, sistema interactivo, ergonomía cognitiva.

Introducción

Hoy en día, la educación y el cómo administrarla para conseguir resultados más altos a nivel de enseñanza, es un tema muy importante, y más aún en la sociedad actual donde se busca igualdad de condiciones hacia las personas con necesidades educativas especiales o en situación de discapacidad, como se explica en el Artículo 11 de la Ley Estatutaria N° 1618 [1]. Por ello es necesario el desarrollo y la creación de interfaces o mecánicas de interacciones que se acomoden a las necesidades de las personas en condición de discapacidad, para que de esta manera tengan el mismo nivel de participación dentro de la sociedad sin ningún impedimento que los haga sentir menos frente a los demás.

Para este proyecto solo se aborda la discapacidad auditiva, ya sea pérdida total o parcial de la escucha, como la realidad a la que se enfrentan niños con este tipo de condición a la hora de aprender, e incluso los mismos docentes al tratar de enseñarles. Por ello que se han ido creando estrategias pedagógicas que faciliten el proceso de enseñanza y aprendizaje a partir de investigaciones que indican que el estudiante pone más empeño y muestra mejores resultados cuando se le brinda un entretenimiento o una diversificación de contenidos que lo motivan a esforzarse y continuar con su proceso de aprendizaje [2].

Para lograr brindar una ayuda pedagógica, se propone un sistema interactivo que consiste en la creación de una interfaz tangible, con el propósito de que, a través de los colores y las vibraciones, el niño con discapacidad auditiva pueda aprender música o pueda percibir usando otros sentidos, de tal manera que desarrolle la capacidad de relacionar la música con los colores, y de esta forma, aunque no escuche lo que compone, pueda verlo y sentirlo a partir de nuevas experiencias. En otras palabras, se busca la posibilidad de generar o desarrollar un estado “artificial” de sinestesia, lo cual implica que la estimulación de un sentido es percibida a través de otra modalidad sensorial añadida, para así poder dar una educación musical a los niños con discapacidades auditivas.

Descripción del problema

Alrededor del mundo existen miles de niños a los que se les dificulta escuchar lo que sucede a su alrededor, parcial o totalmente. Ellos, al igual que otros niños con algún tipo de discapacidad, llegan a instituciones especializadas donde los docentes son estrictamente entrenados y formados para brindarles una educación de acuerdo a su diversidad y a las necesidades educativas que ésta atañe.

Teniendo en cuenta que el plan de desarrollo actual exige acciones específicas para minimizar las brechas de inequidad existentes en nuestro país, “El Ministerio de Educación, propone el tercer programa, Calidad para la Equidad, que tiene como fin desarrollar estrategias que permitan considerar y visibilizar a las poblaciones diversas, vulnerables y en condición de discapacidad, como claves de los procesos de mejoramiento, así como lograr la implementación de programas de calidad que disminuyan las brechas entre lo urbano y lo rural, garantizando también niveles de equidad a nivel nacional” [3]. Por lo que se promueve la vinculación de niños con discapacidades, o con implantes cocleares, a una educación abierta para cerrar brechas entre la desigualdad de niños con necesidades especiales, que hoy existe, pero deja en evidencia que estos niños tienen muchas falencias a la hora de optar por una *institución abierta*, haciendo que su proceso de aprendizaje se vea obstruido.

La historia ha demostrado que muchos músicos con discapacidades auditivas han sorprendido al mundo con sus obras musicales, como en 1994 cuando la agrupación del Instituto de la Audición y el Lenguaje Centrabilitar de la ciudad de Bucaramanga, hizo su primer concierto con más de 300 niños con discapacidades auditivas [4].

Los niños con discapacidad auditiva procesan el sentido del tacto de manera diferente a quienes nacen con audición normal, en su mayoría los niños que nacen sordos desarrollan otros sentidos como la visión y el tacto. Ellos carecen de información auditiva, por lo que pueden tener dificultades con la comprensión y el habla, ya su corteza auditiva se ha encargado de otros sentidos, como el tacto y la visión [5] debido a que su cerebro readapta su estructura para suplir la deficiencia que impone la sordera, aprovechando un área *dejada libre*, que puede ser utilizada por los estímulos auditivos para procesar las vibraciones, así brindándoles la sensación de placer ofrecida por la música a las personas que puedan oírla [6]. La música tiene el poder increíble de unir a la gente, derribar muros y barreras, y promover la armonía e inclusión.

Descripción de la metodología

Debido a la naturaleza del proyecto, fue necesario tener un acercamiento con la población afectada para así saber qué tipo de obstáculos y barreras afrontan constantemente y de esta manera plantear una solución que pueda satisfacer sus necesidades. Para esto se hizo uso de una metodología de educación que se pudiera aplicar al perfil de usuario a evaluar y así desarrollar unos principios de diseño que, a nivel de ergonomía cognitiva, usabilidad y diseño centrado en la experiencia de usuario, fueran viables y útiles.

La población elegida para el desarrollo del proyecto fue el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, con el objetivo de explorar sus estrategias de enseñanza y mecanismos de interacción. A partir de ello, se desarrolló y evaluó el prototipo con los niños con implante coclear. La metodología implementada en el sistema interactivo está basada en una metodología de interacción Humano-Computador (en inglés HCI). También, donde se analizan métodos orientados a la educación en general, como son: el método V.A.R.K. [7] el cual consiste en la comodidad desde el sentido visual, auditivo, de lectura/escritura y kinestésico; el método Aschero [8] que se basa en la implantación de colores, formas y números para enseñar música; el método Dalcroze [9] caracterizado por la utilización de movimientos corporales. Finalmente el método Orff [10] en el cual se dicta una clase participativa mediante el uso de lúdicas, materiales didácticos de apoyo, entre otros.

Después de analizar las diferentes ventajas y desventajas de los métodos planteados, se concluyó que los métodos que mejor se acomodaban dentro las necesidades a solucionar eran el V.A.R.K y el Orff. De esta forma el método VARK se convierte en la guía para la creación del sistema interactivo, y el cual se transforma finalmente en el material didáctico o lúdico que se estaría implementado dentro de la metodología Orff.

Recolección de datos

Para desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta factores como el público al que iba dirigido el sistema interactivo, las necesidades que tenía que suplir y cuál era la mejor manera de hacerlo, así como los lineamientos de diseño que finalmente le darían una forma al sistema interactivo.

Es por eso que fue necesaria la realización de una serie de pruebas con una población específica, gracias a las cuales se diseñó posteriormente, un prototipo que llegó hasta un estado funcional, y con el cual se realizó una última sesión de pruebas para así poder confirmar la usabilidad y utilidad del sistema interactivo.

Por lo que, para el diseño de esta propuesta se sigue la filosofía de Diseño Centrado en el Usuario (en adelante DCU) [11], la cual indica que se deben analizar diferentes aspectos en el usuario, como por ejemplo el tipo de funciones que se espera implementar, las tareas o metas a las que tiene que llegar o qué tipo de información se necesita transmitir y cuál es la mejor manera de hacerlo. Todo mediante metodologías y técnicas como el test de usuarios, la arquitectura de información, las entrevistas o encuestas y muchas otras que ayudan, finalmente, a tener claridad de lo que se quiere lograr. A continuación, se relacionan los grados de discapacidad auditiva de los participantes que hicieron parte de la población de estudio para la recolección de datos.

Participantes

Los participantes para el desarrollo de esta propuesta son niños con implante coclear del Instituto de Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (en adelante INCSVC), cuyas edades oscilan entre 7 a 11 años. Estos niños toman clases de música en el instituto. Por lo que, nos fue conveniente realizar diferentes métodos de evaluación con los niños para el diseño de este prototipo.

En la Tabla 1 se puede encontrar la información correspondiente al perfil de los niños evaluados durante las pruebas en el INCSVC y con los cuales se siguió trabajando a lo largo del desarrollo del sistema interactivo.

Tabla 1
Perfiles de los niños participantes en las pruebas de estudio

	Género	Grado de sordera
Niño 1	Femenino	Profunda
Niño 2	Masculino	Media
Niño 3	Masculino	Leve
Niño 4	Masculino	Severa
Niño 5	Femenino	Media
Niño 6	Masculino	Severa
Niño 7	Femenino	Media

Análisis del perfil del niño

Para tener un buen diseño y desarrollo de un sistema interactivo que resolviera de la manera más eficaz las problemáticas planteadas, se realizaron pruebas y estudios con la población afectada, con el fin de encontrar conclusiones que ayudaran a dar un mayor sustento a la fiabilidad y validez de las funciones que cumple el proyecto. Dichos estudios se realizaron con una población de niños en su mayoría con implante coclear del INCSVC, donde se les realizó una serie

de pruebas para las cuales primero, se tuvo que recurrir a la asesoría de alguien con conocimientos en pedagogía y educación puesto que en un principio, no se sabía cómo interactuar con los niños, o si había una manera correcta de hacerles preguntas, es por eso que estas pruebas fueron previamente presentadas al interior del curso Práctica pedagógica III: Intervención Pedagógica Curricular a cargo de la docente Aldi del Carmen Jaramillo [12] adscripto al programa de Licenciatura en Educación Infantil de la Facultad de Educación de la Universidad San Buenaventura seccional Cali, y así mismo los resultados y análisis de las pruebas fueron compartidos posteriormente con el curso y la docente, y de esta manera poder recibir una buena retroalimentación de los resultados por parte de personas profesionales en el tema de la pedagogía y la enseñanza.

Las primeras pruebas realizadas en el instituto se basaban en tres simples ejercicios los cuales se aplicaron al grupo de niños seleccionados como población de estudio mencionados en la Tabla 1. Los ejercicios consistían en las siguientes actividades:

- *Relación Numero – Color*: esta prueba consistía en la asociación entre los números con el círculo cromático de colores, es decir, el niño tenía que asignar a cada número un color según como él creía más acorde y así poder evaluar por qué vio el niño esa relación o si los demás niños pensaban igual, para así poder analizar si había algún patrón o simplemente ver cómo lo relacionaban según sus gustos (Fig. 1).

Fig. 1

Diseño de la actividad 1 realizada a la población de niños en el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle



- *Relación Sonido – Color*: esta prueba consiste en la reproducción de los tonos musicales Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si. El niño tendrá que relacionar dichos tonos con los colores al igual que en el ejercicio anterior. Este con el fin de ver si encuentra una relación entre la numeración de los colores en un orden en relación con las características musicales de las notas, es decir tono, timbre e intensidad.

Fig. 2

Diseño de la actividad 2 realizada a la población de niños en el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle



- *Expresión Sinestésica*: esta prueba es de carácter más artístico y consistía en la reproducción de una canción de música clásica (Tchaikovsky, El Vals de las Flores, siglo XIX) con la cual los niños tenían que pintar lo que sentían, con los colores que creían que iban más acorde a la canción.

Durante la primera prueba se pudo evidenciar que los niños son capaces de diferenciar con facilidad entre colores similares, pero con diferente tonalidad; es decir, que ven la diferencia entre un verde claro o entre un rojo claro, uno oscuro y un rosado. No obstante, al momento de relacionar los números y los colores, se esperaba que realizaran un análisis lógico donde, tal vez, emparejaran un número de menor valor con un color oscuro o que le dieran un orden lógico según la similitud de los colores respecto a la sucesión de números ordenados, en lugar de ello, se observó que los niños realizaban esta relación de forma aleatoria sin ninguna explicación lógica o racional, en respuesta al por qué ubicaban el color verde en el tres, a ellos les quedaba fácil responder “- porque sí” o simplemente lo ordenaban según la preferencia de su color.

En la segunda prueba, al igual que en la anterior, tampoco se obtuvieron los resultados deseados; una vez más los niños organizaron los colores sin ninguna razón lógica que estuviera relacionada a la nota musical que escuchaban. Hay que aclarar que el Niño 2 no tiene implante coclear y está enseñado a leer labios, razón por la cual no se pudo sacar el máximo provecho de la prueba con este participante, y según las indicaciones del docente Omar Alexis Parra Romero, en este caso era necesario el trabajo con las vibraciones como medio para transmitir una señal de sonido al niño.

Aunque estas dos primeras pruebas no arrojaron los resultados buscados, sirvieron para concluir que realmente no importa el orden o los colores que se implementaran en el sistema interactivo, ya que, al no hacer esa relación lógica del color, finalmente, ellos no iban a sentir que un color no cuadraba con cierta nota musical o que no debería de estar ahí.

Por último, en la tercera prueba los niños no fueron capaces de establecer una relación entre el sonido de la canción y lo que tenían que pintar, al punto de que algunos por falta de creatividad o comprensión del ejercicio, no hicieron mucho, mientras que otros simplemente pintaron imágenes de cualquier cosa que se les vino a la mente, por puro gusto. Así pues, se decidió repetir la tercera prueba, con la diferencia de que esta vez uno de los evaluadores acompañó a los niños en la prueba y realizó el ejercicio con ellos, dando como resultado que al tener un guía de qué debían hacer pudieron realizar de mejor forma el ejercicio.

En esta última prueba, se analizó que los niños siempre se apoyan de alguien para realizar sus actividades, o un ejemplo en que basarse o apoyarse a la hora

de realizar ciertas tareas, conclusión que más adelante sirvió para definir una de las mecánicas de la aplicación móvil del sistema interactivo.

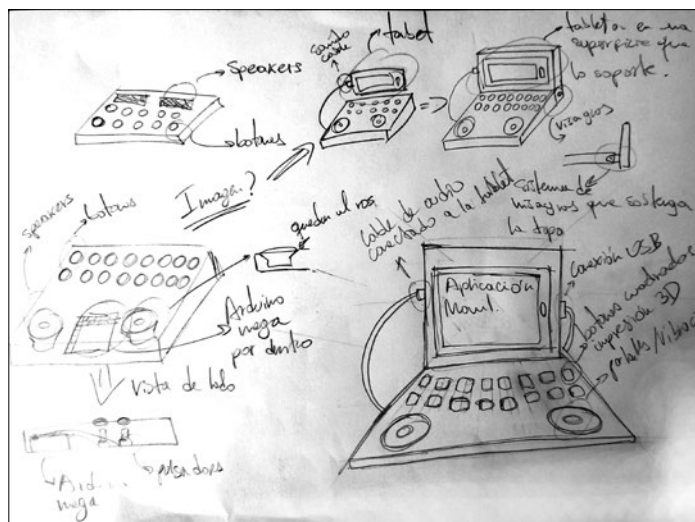
Diseño y desarrollo del sistema interactivo

Diseño

Para el desarrollo del prototipo del sistema interactivo, se tuvieron en cuenta los conceptos de método VARK, mediante el uso de unos parlantes situados en la parte inferior del sistema, a la altura de las muñecas del usuario, donde se pensó sacar provecho tanto al sentido del tacto como del audio gracias a las vibraciones producidas por los parlantes. El sentido visual se ve estimulado mediante la implementación de botones que brillan de un determinado color al ser presionados y finalmente se decide crear una aplicación móvil para dar un mayor refuerzo al sentido visual y de lectura.

Fig. 3

Bocetos en papel del diseño de la parte física del sistema interactivo



Con la incorporación del uso de la aplicación móvil, se decide adicionar en el diseño un soporte que permitiera colocar una *tablet* o *smartphone*, así como la construcción de una estructura en madera para tener una mejor caja de resonancia acústica; también la implementación de una salida de sonido que permitiera conectar la *tablet* y mandar los sonidos directamente a los parlantes, y un sistema de bisagras para poder utilizar el mismo soporte como una tapa que permita cerrar el dispositivo para que quede más compacto y práctico a la hora de transportarlo a algún sitio.

Fig. 4
Diseño en papel del *software*

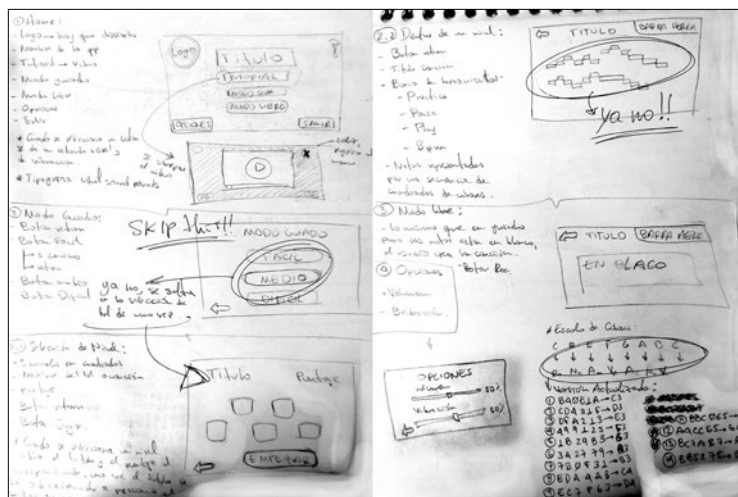


Fig. 5
Renderizado conceptual del prototipo



Desarrollo

Una vez finalizado el render, se pudo tener una idea más clara de las dimensiones del producto y de los factores a tener en cuenta a la hora de realizar un segundo modelado 3D con las piezas bien definidas y aptas para ser usadas como piezas en madera y en impresión 3D, para lo cual primero se desarrolló un primer prototipo en cartón paja, el cual fue necesario para realizar los ajustes en las medidas por cuánto espacio se necesitaba para que entraran todos los componentes electrónicos.

Se realizó un modelado 3D, en el cual se tuvo en cuenta el tamaño del Arduino Mega para el diseño. Además, se seleccionaron las piezas que irían en madera, siendo estas la gran mayoría, ya que finalmente las que irán a impresión 3D, solo serían las bisagras y los botones. Para estos últimos se utilizó un tipo especial de PLA traslúcido que permite el paso de la luz de color de los bombillos *led* ubicados en los pulsadores, además de tener también la propiedad de elasticidad para una mayor sensación de comodidad a la hora de presionar los botones.

Una vez las piezas en madera fueron cortadas y las piezas en PLA impresas, fueron ensambladas, como se puede observar en la Fig. 6. El finalizar este proceso, se decidió ponerle un nombre corto, amigable y fácil de recordar al sistema interactivo, por lo que se decidió llamarlo “CASETO”. Una vez terminada toda la fase de desarrollo y con el prototipo funcionando, se evaluó su usabilidad para comprobar utilidad y eficacia.

Fig. 6

Ensamblaje de las piezas del prototipo funcional



Evaluación y resultados

Evaluación

La usabilidad, probada con los niños, es un test de 36 preguntas, que está basado en los test de QUIS [13], USE [14], GEQ [15], UEQ [16]. En este se agruparon

las preguntas de acuerdo a las siguientes categorías: apariencia, exploración del juego, contenido, interacción, satisfacción, experiencia de usuario, feedback, emociones y facilidad de aprendizaje.

Cada test aplicado evalúa un conjunto de categorías, y subjetivamente la satisfacción del usuario con la interfaz que está empleando. Por lo que, USE ayudó a evaluar la facilidad; es decir cuán útil y cuánta satisfacción generaría el prototipo. El cuestionario GEQ fue usado para medir en qué nivel de compromiso se encontraba el niño al momento ejecutar una tarea. Por último el UEQ -el cual no podría faltar en esta evaluación- mide la experiencia del usuario frente a una tarea, lo que significa que esta prueba es una de las más fiables y utilizada a la hora de medir una aplicación, ya que brinda información útil y concisa de la tarea ejecutada. Se evaluó en esos aspectos el porqué el niño sordo es muy bueno ejecutando una tarea a la vez, así que aparte de los test se midió el tiempo que tomó a cada uno ejecutar el *modo libre*, pues se quería obtener una cuantificación de cómo se comportaría el primer niño frente a la ejecución de la primera tarea que era *exploración de la interfaz*, al igual que el último niño en ejecutar la tarea de *modo libre*.

¿Por qué se hizo de esa forma?, la evaluación de estos niños fue grupal, así que ellos iban a apoyarse el uno del otro, llamado efecto espejo, así que el objetivo fue ver el comportamiento del Niño 1 frente a la interfaz, y después de que él finalizara las tareas planteadas, se evaluó a los otros niños.

Cuando finalizó la actividad, los otros niños correspondientes al Niño 2, Niño 3, Niño 4, Niño 5, Niño 6 y Niño 7, se procedió a llamar al Niño 8; el último en entrar, tuvo poca referencia de lo que debía hacer y ejecutó las mismas tareas, por lo que se midió el tiempo en el modo libre.

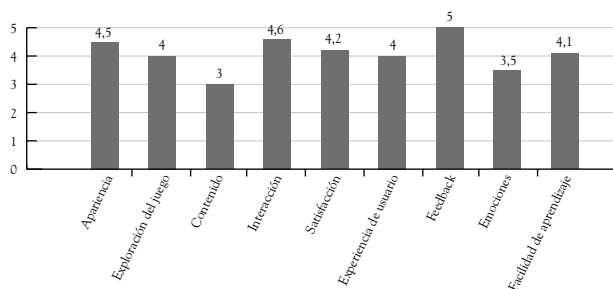
Al finalizar el acondicionamiento a la interfaz, se pasó al *modo guía*, donde se les exige hacer dos tareas al mismo tiempo, como se ha discutido en las secciones anteriores, hacer que el niño ejecute dos tareas, en este caso ver la secuencia y ser capaz de seguirla, representa en el todo un reto, pues su atención se focaliza en ejecutar una por una.

Resultados

Al aplicar la evaluación a ocho niños con implante coclear del INCSVC, se obtienen los hallazgos expuestos en la Fig. 7, donde se hizo un promedio por actividad, dando un resultado por cada actividad, como se observa, eficiencia, experiencia de usuario y aprendizaje están en un mismo nivel, reflejando un nivel estándar y una proyección acertada de cómo el niño a través de la eficiencia, más el tiempo empleado (experiencia de usuario), brinda un aprendizaje

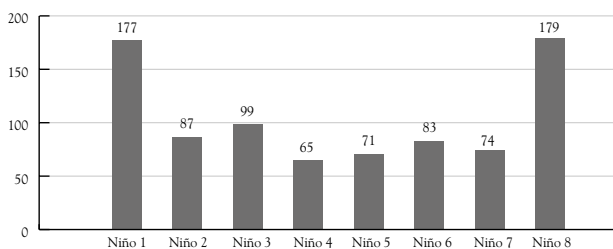
acorde al tiempo que pasa frente a la interfaz; si se le da más tiempo al niño de interacción en el *modo libre*, va a crecer la experiencia de usuario y el aprendizaje.

Fig. 7
Promedios de los resultados de los test de usabilidad



En la Fig. 8 se describe el tiempo empleado por niño en el *modo libre*, el cual tiene un promedio en segundos: 104 segundos, equivalentes a 1 minuto y 43 segundos. La evaluación, fue con un grupo de cuatro niños, y al terminar pasaron los otros cuatro niños, por eso se notó una disminución en tiempo empleado, pues ellos siguen lo que el compañero hace, en otras palabras; recurren al uso del *efecto espejo*, lo cual era un resultado esperado, pues en las primeras evaluaciones de dibujo, se observó cómo se apoyaban del otro, y seguían el mismo patrón de dibujo de su compañero. En este caso fue igual, a pesar de que a los niños se les dificulta ejecutar dos tareas al mismo tiempo, se pudo observar que hubo más concentración con un tiempo prudente en el *modo libre*, como lo fue en el caso del Niño 1, quien siguió en un 90 % la secuencia de la canción “Girasol”.

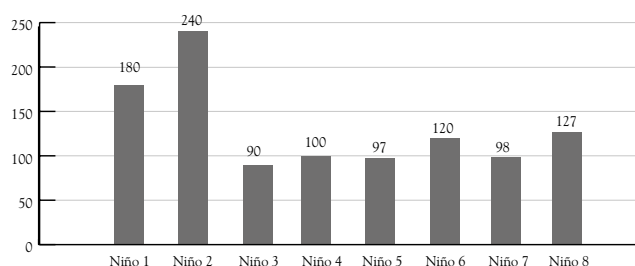
Fig. 8
Ejecución del modo libre en segundos



Cabe resaltar que el tiempo que pasaron en el *modo libre*, repercutió en el *modo guía* (ver Fig. 9), pues cuentan con intervalos parecidos, pero con el leve retraso en la ejecución de dos tareas al mismo tiempo. Se debe aclarar que la Actividad 2 del prototipo es el *modo guía*, donde los niños debían de seguir instrucciones. Los niños 1, 5 y 8, consiguieron realizar esta tarea en un 90 %, 87 % y 48 % respectiva y correctamente. Por su parte, Niño 2 no siguió la secuencia, así que

se tomó su tiempo en el *modo guía*; luego de no poder seguir con la tarea empieza a tocar al azar, aquí el *efecto espejo* no tuvo participación pues ellos debían concentrarse en una ejecución de lo que veían, más no de lo que veían hacer del compañero; es decir, la aplicación actuó de espejo para que ellos repitieran lo que se les mostraba, por ende se tienen unos resultados más exactos.

Fig. 9
Ejecución del modo guía en segundos



Análisis, conclusiones y trabajos futuros

Análisis

Se puede observar que el sistema interactivo denominado CASETO, no solo lleva a los niños a una iniciación musical, sino que potencia la creatividad y la capacidad de innovar de manera espontánea, que los acerca a sonidos reales. De igual manera, este sistema interactivo logró en el proceso y desarrollo de la investigación, evidenciar aprendizajes de orden *matemático* al realizar ejercicios de secuenciación, tiempo y ritmo, entre otros; de *lenguaje* al desarrollar otras formas de expresar lo que sienten a través de las composiciones musicales, develando sentimientos y sensaciones generadas durante los ejercicios, *lectura de partituras* basadas en un nuevo sistema sinestético que les permitió crear una relación entre el sonido y el color, dándoles un apoyo que les permitiera comprender u aprender conceptos musicales con mayor facilidad.

De este modo, el sistema interactivo CASETO, brinda la posibilidad a los niños con implante coclear capturar los sonidos y tonalidades musicales, haciendo uso de otros sentidos, como lo es el tacto y la visión, y de alguna manera entender que, aunque tienen una discapacidad auditiva, pueden aprender música usando otros sentidos para sentirla, reconociendo a los niños en capacidades, potencialidad y no en carencias; entendiendo así que tienen otras formas de comprender y representar el mundo, llevándolos siempre a querer aprender y descubrir todo lo que les rodea. En la medida que se le posibilite acercarse al mundo real, abre la mirada del niño a aquello que le ha sido negado por natu-

raleza o por enfermedad, siendo así importante la construcción de dispositivos que atiendan las condiciones biológicas de la población afectada.

Todo esto fue posible al incorporar en el diseño y desarrollo de la propuesta aspectos que dieran respuesta a las necesidades y condiciones de los niños con implante coclear, para lograr una experiencia de usuario agradable, perdurable en el tiempo, con un alto nivel de usabilidad, capaz de brindar una respuesta cognitiva basada en los lineamientos y principios de diseño, teniendo como prioridad la accesibilidad del usuario en tanto costos de producción y portabilidad.

Conclusiones

- A la hora de evaluar a los niños con implantes cocleares, pudimos notar que tienen una muy buena referencia visual, pues saben distinguir entre un color de tono claro y uno oscuro.
- Se requiere una reducción de tareas en el tiempo, ya que los niños hipoacúsicos son buenos procesando una tarea por vez, por eso se necesita minimizar los procesos mentales y visuales en la aplicación móvil.
- En el caso de sordera profunda, su sentido visual se multiplica exponencialmente; es decir primero ve y luego ejecuta: en el caso del Niño 2 se pudo evidenciar que siempre espera a ver para ejecutar una acción, como lo fue en la actividad de seguir las figuras rítmicas, donde más de un niño, en lugar de ir tocando a la par de la secuencia, primero esperaba a que esta terminara y ahí se disponía a tocar las notas.
- Los niños demostraron estar atraídos con CASETO al interactuar con él, debido a que representa una novedad para ellos, así como un beneficio ya que a través de éste el estudiante minimiza la distracción en los ejercicios o actividades que pueda llegar a plantear el docente en un clase de música.
- Aunque no todos lograron ejecutar de la manera más correcta las canciones del *modo guía*, hubo varios niños que lograron interpretar de manera parcial, pero correcta las dos canciones, lo que significa que con un poco más de tiempo y práctica podrían ser capaces de interpretar canciones.

Trabajos futuros

- Se puede implementar más adelante un proceso de lectura de partitura por colores, el niño ya no verá figuras rítmicas en un solo color, sino que las corcheas, las blancas y las negras, toman colores para representarse en colores rítmicos.

- El prototipo tiene muchos procesos de mejoramiento, como lo son la creación de una placa para todo el piano simplificando el cableado, mejoramiento del preamplificador, mejorar la sensibilidad y velocidad de respuesta de los botones, darle una estética más agradable para los niños y hacerlo aún más portátil implementando un sistema de batería para CASETTO que elimine la necesidad de estar conectado a una toma de pared.
- Realizar un trabajo de adecuación con CASETTO, para generar principios de educación con una interfaz, esto requiere de al menos dos años, de interacción, así poder generar cambios en la misma, para luego evaluar el proceso pedagógico del niño y poder generar nuevas aplicaciones, teniendo en cuenta el proceso de lectoescritura, memoria, hasta incluso llegar a la enseñanza de la matemática por colores.

Referencias

- [1] República de Colombia - Gobierno Nacional. Ley Estatutaria N° 1618, 27 de Febrero del 2013. <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/2013/LEY%201618%20DEL%2027%20DE%20FEBRERO%20DE%202013.pdf>, última visita Junio 17 del 2016.
- [2] Andrés Aguilera Castillo, Camila Andrea Fúquene Lozano, Wilian Fernando Ríos Pineda. *Aprende Jugando: el uso de técnicas de gamificación en entornos de aprendizaje* [en línea] Disponible en: <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/im/article/viewFile/2708/2465>
- [3] PLAN SECTORIAL 2010-2014, http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-293647_archivo_pdf_plansectorial.pdf, última visita realizada el 15 de Mayo del 2016.
- [4] Editson Chacon Z, *La Sinfonía de los niños de Beethoven* [en línea] Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-846576>
- [5] *Los sordos de nacimiento procesan el sentido del tacto de manera diferente a quienes nacen con audición normal* [en línea] Disponible en: <http://www.infosalus.com/actualidad/noticia-sordos-nacimiento-procesan-sentido-tacto-manera-diferente-quienes-nacen-audicion-normal-201207111323447>
- [6] Walter Neary, “Brains of deaf people rewire to ‘hear’ music” [en línea] Disponible en: <http://www.washington.edu/news/2001/11/27/brains-of-deaf-people-rewire-to-hear-music>
- [7] Maritza Pedraza. *Los Estilos de Aprendizaje VARK* [en línea] Disponible en: <http://www.orientacionandujar.es/wp-content/uploads/2014/05/los-estilos-de-aprendizaje-VARK.pdf>

- [8] Sergio Aschero, Mirta Karp. *Numerofonía de Aschero*, 2012 [en línea] Disponible en: <http://sergioaschero.com.ar/descarga/numerofonia/Teoria%20de%20la%20Numerofonia%20de%20Aschero.pdf>
- [9] Anna M. Vernia. *Método Pedagógico Musical Dalcroze*, 2012 [en línea] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3946014.pdf>
- [10] Natalia Esquivel. *Orff Schulwerk o Escuela Orff: Un Acercamiento a la Visión Holística de la Educación y al Lenguaje de la Creatividad Artística* [en línea] Disponible en: <http://laretreta.net/0202/orff.pdf>
- [11] Enric Mor Pera. *Diseño centrado en el usuario* [en línea] Disponible en: http://cv.uoc.edu/web/~emor/ipo/Modulo_DCU.pdf, última visita Julio 6 del 2017
- [12] Aldi del Carmen Jaramillo, Mag.en Alta Dirección de Servicios Educativos, Esp.Investigación en contexto de Docencia Universitario. Docente tiempo completo de la Facultad de Educación, asesora de práctica pedagógica de la Universidad de San Buenaventura.
- [13] John P. Chin, Virginia A. Diehl, Kent L. Norman. "User Satisfaction of the Human-Computer Interface" [en línea] Disponible en: <http://www.lap.umd.edu/quis/publications/chin1988.pdf>
- [14] Arnold Lund. "Measuring Usability With The USE Questionnaire", 2001.
- [15] Jeane H. Brockmyer, Christine M. Fox, Kathleen A. Curtiss, Evan McBroom, Kimberly M. Burkhart, Jacquelyn N. Pidrusny. "The Development of the Game Engagement Questionnaire: A Measure of Engagement in Video Game-Playing", 2009 [en línea] Disponible en: <http://faculty.uoit.ca/kapralos/csci5530/Papers/geq.pdf>, última visita 26 de Abril del 2017.
- [16] Maria Rauschemberg, Martin Schrepp, Manuel Pérez Cota, Siegfried Olschner, Jörg Thomaschewski. "Efficient Measurement of the User Experience of Interactive Products. How to Use the User Experience Questionnaire (UEQ). Example: Language Version" [en línea] Disponible en: <http://www.ueq-online.org/wp-content/uploads/EfficientMeasurementOfTheUserExperienceOfInteractiveProducts.pdf>, última visita 26 de Abril del 2017.

(SUBMISSION 99)

Propuesta de una evaluación heurística de accesibilidad para sitios web basada en la NTC 5854

KATERIN JIMÉNEZ

DANIELA PÉREZ

SEBASTIÁN RENGIFO

GABRIEL ELÍAS CHANCHÍ GOLONDRINO

MARÍA ISABEL VIDAL CAICEDO

*Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca
Popayán, Colombia*

Resumen

En la actualidad, la accesibilidad web es un tema que ha cobrado importancia debido al acceso masivo a aplicaciones web, incluyendo población con diversidad funcional, lo que provoca que en el diseño y el desarrollo web se consideren las características especiales de los usuarios. Teniendo en cuenta lo anterior, existen estándares y normas que pretenden regular dichos procesos y que proponen incluir elementos que aporten a la construcción de aplicaciones web accesibles, entre las cuales están las pautas de accesibilidad propuestas por el W3C (por sus siglas en inglés World Wide Web Consortium), agrupadas en el estándar WCAG 2.0, la norma ISO 9261 literal 171 y la norma colombiana NTC 5854. Estas normas establecen los requisitos para que un sitio web sea accesible a la mayor cantidad posible de usuarios, independientemente de su diversidad funcional; calidad de conexión a internet o dispositivo de acceso. A pesar que existen evaluaciones heurísticas de usabilidad, no se ha evidenciado la existencia de evaluaciones heurísticas de accesibilidad basadas en la norma NTC 5854. En este artículo se propone una evaluación heurística de accesibilidad para sitios

web a partir de los principios y pautas establecidos en la norma NTC 5854. Para lo anterior, en este trabajo se desarrolló un instrumento de evaluación que permite inspeccionar la accesibilidad de un sitio web, a partir de un conjunto de cuestionamientos asociados a cada uno de los cuatro principios de la norma NTC 5854. Este instrumento fue usado para la ejecución de una evaluación heurística sobre el portal *lauvid.com*, con el fin de obtener recomendaciones de accesibilidad sobre el diseño del sitio. La evaluación heurística propuesta, pretende servir como complemento a las evaluaciones tradicionales de usabilidad para sitios web, con el fin de mejorar la calidad de los productos software desde la perspectiva de la accesibilidad.

Palabras clave: accesibilidad, accesibilidad web, evaluación heurística, NTC 5854.

Introducción

En Colombia el diseño, promoción e implementación de la política pública de acceso a la información está a cargo de la Secretaría de Transparencia de la Presidencia de la República, el Ministerio de Tecnología de la Información y Comunicaciones, el Departamento Administrativo de la Función Pública (DAFP), el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el Archivo General de la Nación y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). De acuerdo a lo anterior se obliga a las entidades a garantizar que las personas en condición de diversidad funcional y los diferentes grupos étnicos y culturales accedan a información de su interés. Así, se busca que el Estado entregue a los colombianos la información pública que soliciten, de tal manera que, tanto las entidades públicas y privadas, además de responder a la solicitud expresa de información de los ciudadanos, también estén en la obligación de divulgarla proactivamente, respondiendo al requerimiento de forma rutinaria, proactiva, actualizada, accesible y comprensible [1].

En concordancia con lo anterior, en la actualidad la mayoría de las aplicaciones web disponibles en internet, presentan una gran barrera en el campo de la accesibilidad, lo que dificulta o imposibilita su utilización para personas que presentan algún tipo de diversidad funcional o limitación de acceso. De este modo cuanto más *software* y aplicaciones web accesibles estén disponibles, más personas podrán hacer uso de las mismas, contribuyendo así a la reducción de las brechas tecnológicas.

Al hablar de accesibilidad web se está haciendo referencia a un diseño web que permite a usuarios con diversidades funcionales o con alguna limitación de acceso tecnológico, escribir, entender, navegar e interactuar con la web. Entre las diversidades funcionales que aborda la accesibilidad se encuentran: limita-

ciones visuales, auditivas, físicas, cognitivas, entre otras, o aquellas que surgen debido al paso de los años. Otras las limitaciones abordadas por la accesibilidad, están relacionadas con la calidad de conexión a internet o con los dispositivos de acceso. De este modo la accesibilidad busca que las personas de manera independiente a su diversidad funcional, puedan acceder a la información que las instituciones públicas y privadas, o todo tipo de organizaciones proveen [2].

La accesibilidad también permite a las organizaciones una realimentación sobre las nuevas necesidades y requerimientos de los usuarios, lo que implica un constante mejoramiento de las páginas web. A nivel mundial se han establecido normas para medir la accesibilidad de las páginas web, y en Colombia, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), publicó en 2011 la norma para la accesibilidad web NTC 5854 [3], la cual establece los requisitos para que un sitio web sea accesible a la mayor cantidad posible de usuarios, independientemente de su condición física (discapacidad visual, auditiva, cognitiva, entre otros); calidad de conexión a internet o dispositivo de acceso [4].

A partir de la problemática anterior, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, en su estrategia de Gobierno en Línea, ha dado gran importancia a la accesibilidad, al promover la implementación de la norma NTC 5854 con sus distintos niveles, de conformidad en las instituciones del Gobierno, especialmente en temas como: formularios de descarga, información en audio y video, acceso desde dispositivos móviles, consultas a bases de datos, servicios de interacción, trámites y servicios en línea, entre otros [5].

Con el objetivo de establecer los requisitos de accesibilidad que son aplicables a las páginas web, los cuales están agrupados en tres niveles de conformidad: A, AA, y AAA, la norma NTC 5854 fue desarrollada empleando como documento de referencia las pautas de accesibilidad para contenido web WCAG 2.0 provistas por el World Wide Web Consortium (W3C).

La intención de la norma NTC 5854 es promover que el contenido de la web sea accesible a personas con diversidades funcionales: visuales, auditivas, físicas, de habla, cognitivas, de lenguaje, de aprendizaje o neurológicas, permitiendo que puedan percibir, entender, navegar, interactuar y contribuir con los sitios web. No obstante, es importante destacar que la accesibilidad beneficia a todos los usuarios que visiten el sitio web, ya que hace que los contenidos se presenten en forma comprensible y amigable para todas las personas [6].

A nivel de la literatura se detectó la existencia de evaluaciones heurísticas de usabilidad como la basada en los principios de Nielsen, la cual no se enfoca en aplicaciones web, ni tampoco aborda principios y pautas de accesibilidad [7]. Así

mismo se evidenció la existencia del test heurístico de Torres Burriel [8], el cual propone un conjunto de heurísticas para sitios web, incluyendo uno reducido de heurísticas para accesibilidad, las cuales no abordan de manera completa los principios y pautas de la norma NTC 5854, ni de la norma de accesibilidad WCAG 2.0 del W3C.

Así pues, en el presente trabajo se propone una evaluación heurística de accesibilidad para sitios web, la cual tiene en cuenta cada una de las pautas asociadas a los principios de accesibilidad de la norma colombiana NTC 5854. Esta evaluación heurística fue planteada tomando como referencia la plantilla propuesta en el test heurístico de usabilidad [8], el cual define un conjunto de preguntas agrupadas por diferentes temáticas de usabilidad con el fin de que el evaluador valore cada pregunta de 1 a 5.

Como caso de estudio, en el presente trabajo se hizo uso del test heurístico propuesto para la evaluación del portal web www.lauvid.com, el cual se desarrolló en el marco del proyecto de investigación Gestión comercial y de mercados digital para mipymes agroindustriales, estudio de caso empresa Lauvid sas, Piendamó - Cauca, desarrollado por el grupo I+D en Informática de la Facultad de Ingeniería y el grupo TARGET de la Facultad Ciencias Sociales y Administrativas, pertenecientes a la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. Mediante la evaluación heurística realizada se obtuvieron un conjunto de recomendaciones para mejorar el desarrollo del sitio.

Finalmente, este artículo está organizado de la siguiente forma: en la Sección 2 se presentan un conjunto de temáticas que se tuvieron en cuenta para su desarrollo. En la Sección 3 se describe la metodología usada para la investigación. En la Sección 4 se presenta la propuesta de evaluación heurística y la plantilla generada para la ejecución de la evaluación. En la Sección 5 se muestra la aplicación del test heurístico sobre el portal www.lauvid.com y el análisis de estadístico de los resultados. En la Sección 6 se presentan las recomendaciones derivadas de la ejecución del test heurístico, las cuales están organizadas por los principios de la norma NTC 5854. Finalmente, en la Sección 7 se describen las conclusiones y los trabajos futuros derivados de la presente investigación.

Marco conceptual

En esta sección se presentan un conjunto de conceptos y temáticas que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del presente artículo. Dentro de estos conceptos se encuentran: Accesibilidad, Accesibilidad Web, la Norma Técnica Colombiana (en adelante NTC) 5854 y Evaluación Heurística.

Accesibilidad

La accesibilidad es la cualidad de fácil acceso para que cualquier persona, incluso aquellas que tengan limitaciones en la movilidad, la comunicación o el entendimiento, para llegar a un lugar, objeto o servicio. La *accesibilidad universal* es la condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad, comodidad y de la forma más autónoma y natural posible [9].

- *Accesibilidad Web*: significa que personas con algún tipo de diversidad funcional van a poder hacer uso de la web. En concreto, al hablar de accesibilidad web se está haciendo referencia a un diseño web que va a permitir que estas personas puedan percibir, entender, navegar e interactuar con la web, aportando a su vez contenidos. La accesibilidad web también beneficia a otras personas, incluyendo personas de edad avanzada que han visto mermadas sus habilidades a consecuencia de la edad. Ésta engloba muchos tipos de discapacidades, incluyendo problemas visuales, auditivos, físicos, cognitivos, neurológicos y del habla [10].
- *Norma Técnica Colombiana (NTC) 5854*: es una norma para la accesibilidad web cuyo objetivo es promover que el contenido de la web sea accesible para personas con distintas diversidades funcionales, permitiendo que estas pueden percibir, entender, navegar, interactuar y contribuir con los sitios web. Es importante destacar que la accesibilidad beneficia a todos los tipos de usuarios que visiten el sitio web, ya que hace que los contenidos se presenten y adecuen a sus limitaciones o diversidades funcionales.

Esta fue desarrollada a partir de las pautas de accesibilidad para contenido web WCAG 2.0 propuesta por W3C (ver Fig. 1) y contempla cuatro principios a saber: perceptible, operable, comprensible y robusto. Aunque el concepto de usabilidad no está directamente relacionado con la accesibilidad, cumplir con estos principios para crear un sitio web accesible implica mejoras en la experiencia que tienen los usuarios en general, partiendo de estos de la siguiente manera: *perceptible*: la información y todos los componentes de la interfaz de usuario deben presentarse a los usuarios, de modo que ellos puedan percibirlos. *Operable*: los componentes de la interfaz de usuario y la navegación deben ser operables. *Comprensible*: la información y el manejo de la interfaz de usuario deben ser comprensibles. *Robusto*: el contenido debe ser lo suficientemente robusto como para ser interpretado de forma fiable para una amplia variedad de aplicaciones de usuario, incluyendo la ayuda técnica [3].

Fig. 1
Principios presentes en la Norma NTC 5854



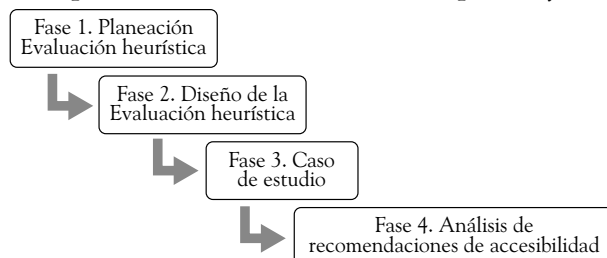
- *Evaluación heurística*: una evaluación heurística es una variante de la inspección de usabilidad, donde unos conjuntos de especialistas en usabilidad juzgan si cada elemento de la interfaz de usuario sigue los principios de usabilidad establecidos. Este método forma parte del que se conoce como "ingeniería de la usabilidad rebajada".

Evaluación heurística es un nombre que ha sido usado para significar que un grupo de expertos escudriñan la interfaz y evalúan cada uno de sus elementos ante una lista de principios o heurísticas comúnmente aceptadas. Una vez los expertos realizan la inspección individual, se integran los resultados obtenidos y se realiza un análisis estadístico de los resultados consolidados. Inicialmente, la lista de heurísticas de usabilidad era muy larga, dando lugar a tediosas sesiones de evaluación y expertos agotados, que iban en contra del propósito inicial de ahorrar tiempo y dinero en el test. De este modo, Nielsen redujo la lista de principios heurísticos de usabilidad a diez, resultando suficientes y aceptables para cualquier evaluación de diseño [7].

Metodología propuesta

Para generación y validación de la evaluación heurística de accesibilidad presentada en este artículo, se desarrollaron las cuatro fases (ver Fig. 2). A continuación, se presenta una descripción de cada una de las fases de la metodología usada para la generación de la evaluación heurística.

Fig. 2
Diagrama de secuencia con la metodología trabajada



Fase 1 - Planeación de una evaluación heurística

En esta fase se realizó un estudio detenido y detallado de cada una de las pautas y principios de la norma NTC 5854, tomando como referencia los conceptos

presentados en la norma ISO 9241 literal 171. Así mismo, se tuvieron en cuenta algunas de las heurísticas de accesibilidad presentadas en el test heurístico de [8]. Lo anterior con el fin de retroalimentar y complementar la información obtenida a partir de las pautas de la norma NTC 5854.

Fase 2 – Diseño de la evaluación heurística

Una vez realizado el estudio de la norma NTC 5854 y de las normas y test heurísticos de accesibilidad relacionados, se procedió a la obtención de un conjunto de heurísticas y preguntas asociadas a cada una de las pautas pertenecientes a los principios de accesibilidad de la norma NTC 5854. Cada pregunta derivada de las heurísticas puede ser valorada de 1 a 5, siendo 1 la mínima y 5 la máxima expresión de la heurística en el portal evaluado. Cada pregunta fue generada de manera que estuviera redactada de modo claro, evitando ambigüedades por parte del evaluador. Así mismo mediante las preguntas asociadas a cada pauta de la norma, se generó una plantilla de evaluación, la cual tomó como base el test heurístico propuesto por Torres-Burriel [11].

Fase 3 – Caso de estudio

Cuando fue generado el instrumento para la aplicación de la evaluación heurística, se procedieron a escoger los evaluadores con conocimiento en las áreas de ingeniería de *software*, diseño de *software*, usabilidad - accesibilidad, y desarrollo de *software*. Estos evaluadores aplicaron el instrumento desarrollado sobre el portal web la empresa Lauvid SAS, el cual se desarrolló en el marco del proyecto del grupo de investigación *target* de la faculta de Ciencias Sociales y Administrativas de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca.

Fase 4 – Análisis de los resultados y recomendaciones de accesibilidad

A partir de la evaluación heurística aplicada al caso de estudio, se agruparon los datos cuantitativos y cualitativos obtenidos en la evaluación, de tal modo que partiendo de ellos, se generó un análisis estadístico y se obtuvieron un conjunto de recomendaciones para el portal web del sitio Lauvid S.A.S. Las recomendaciones fueron clasificadas de acuerdo a las pautas de accesibilidad de la norma NTC 5854.

Propuesta de evaluación heurística

Con base en el test heurístico de usabilidad propuesto por Torres Burriel se realizó una adaptación de dicha plantilla, enfocándose en las pautas y principios de la norma NTC 5854 (perceptible, operable, comprensible y robusto). Como

complemento a cada una de las preguntas asociadas a las heurísticas y principios de accesibilidad generados, se vincularon los niveles de conformidad y/o prioridad obtenidos a partir de cada una de las pautas de la norma exploradas. A continuación, se presentan las escalas de valoración propuestas para cada una de las preguntas.

Tabla 1
Rangos de calificación

Valor	Observaciones
1	Totalmente insatisfactorio
2	Poco satisfactorio
3	Neutral
4	Satisfactorio
5	Muy satisfactorio

Tal como se mencionó anteriormente, los niveles de prioridad que se consideraron para la evaluación heurística se describen a continuación:

- *Prioridad 1*: son aquellos puntos que un desarrollador web tiene que cumplir, pues de otra manera, ciertos grupos de usuarios no podrían acceder a la información del sitio.
- *Prioridad 2*: son aquellos puntos que un desarrollador web debería cumplir, pues de lo contrario, sería muy difícil acceder a la información para ciertos grupos de usuarios.
- *Prioridad 3*: son aquellos puntos que un desarrollador web debería cumplir, pues de otra forma, algunos usuarios experimentarían ciertas dificultades para acceder a la información.

A partir de estos niveles de prioridad y como medio de verificación de los mismos, surgen los siguientes niveles de conformidad:

Tabla 2
Niveles de conformidad

Niveles de conformidad	Observaciones
A	Todos los puntos de verificación de prioridad 1 se satisfacen.
AA	Todos los puntos de verificación de prioridad 1 y 2 se satisfacen.
AAA	Todos los puntos de verificación de prioridad 1, 2 y 3 se satisfacen.

Partiendo de la NTC 5854, a partir de cada principio y de las pautas de accesibilidad asociadas a estos, se generaron un conjunto de heurísticas, según las cuales se obtuvieron las siguientes preguntas del test heurístico:

Tabla 3
Número de preguntas generadas para cada principio

Principio	Número de preguntas
Perceptible	9
Operable	12
Comprensible	12
Robusto	9

A modo de ejemplo del test heurístico generado en el presente trabajo, se muestran a continuación algunas de las preguntas obtenidas a partir de las pautas pertenecientes a los principios de la NTC 5854.

Tabla 4
Preguntas que componen el principio de perceptible

Principio: perceptible	Valor	Conformidad
¿El portal web contiene imágenes que presentan una información en audio, la cual facilita el entendimiento de las mismas?		A
¿El portal web presenta colores adecuados (un contraste entre la letra y el fondo del portal web) que le permiten al usuario el entendimiento y la fluidez de la información?		A
Principio: operable	Valor	Conformidad
¿El portal web cuenta con una barra de búsqueda que permite encontrar la información relacionada con el contenido del mismo?		AA
¿Al ubicarse en los campos de texto que se encuentra en el portal web, estos cambian de color al ingresar datos?		A
Principio: comprensible	Valor	Conformidad
¿Los contenidos textuales que se presentan dentro del portal web son fáciles de leer y comprender?		AA
¿El portal web proporciona un mecanismo o glosario de identificación de abreviaturas?		AAA
Principio: robusto	Valor	Conformidad
¿El portal web es adaptable (en cuanto el tamaño, la fuente, el color) desde diferentes dispositivos (Smartphone, Tablet, Pc...)?		AAA
¿El contenido Del portal web, es compatible con las herramientas actuales y futuras (Por herramientas se entienden los navegadores Microsoft Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla Firefox)?		A

Caso de estudio

En el presente trabajo se realizó una evaluación heurística basada en la NTC 5854, la cual plantea los requerimientos de accesibilidad que deben cumplir las aplicaciones web. La evaluación generada fue aplicada en el prototipo web Lauvid SAS, desarrollado en el marco del proyecto Gestión comercial y de mercados digital para Mpymes agroindustriales, estudio de caso empresa Lauvid sas, Piendamó - Cauca, con el fin de proporcionar un conjunto de recomendaciones de accesibilidad que permita mejorar dicho prototipo.

Lauvid SAS tiene por objeto social la transformación y comercialización de hortalizas, frutas, verduras, aromáticas y condimentarias. Su origen radica en la necesidad de hacer empresa en el campo. Por esta razón su compromiso principal es con los campesinos, especialmente mujeres y jóvenes vulnerables ubicados en su zona de influencia, generando desarrollo y tejido social [12]. Esta Organización cuenta con un portal web donde se ofrecen sus productos de frutos secos y sus derivados, como también presenta información del proceso que llevan cada uno de ellos, se maneja una información de contacto, y por último ofrece la opción de compra de los productos exhibidos en el portal.

Resultados evaluación heurística

La evaluación heurística, se realizó a través de juicio de cinco expertos en el área, a quienes luego de utilizar la página web de Lauvid SAS se les formuló el test heurístico de accesibilidad planteado en este trabajo. Lo anterior teniendo en cuenta que una evaluación heurística es realizada por lo general por un número impar de evaluadores expertos (entre 3 y 5). El instrumento propuesto contiene un conjunto de preguntas agrupadas en cuatro principios: perceptibilidad, operatividad, comprensión y robustez. Una vez se obtuvo la información de los expertos, se tabuló y analizó con criterio estadístico la información.

Tabla 5
Perfil de los evaluadores de la prueba

Evaluador	Perfil
Evaluador 1	Docente de Programación y Desarrollo de software de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca.
Evaluador 2	Docente de interacción humano computador (HCI) y Desarrollo de software de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca
Evaluador 3	Docente de seguridad Informática y gestión de proyectos de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca y Auditora de calidad
Evaluador 4	Joven investigadora de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca y Auditora de calidad
Evaluador 5	Estudiante de ingeniería informática de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca.

La experiencia en el área de accesibilidad, la ingeniería de *software* y el desarrollo de *software* fueron algunos de los criterios de selección de los expertos, para la realización de las pruebas.

Es importante resaltar que, por tratarse de información aportada por expertos, el tratamiento estadístico a realizar en el presente trabajo no fue el clásico, que se hace a través del cálculo de parámetros como la media aritmética y la desviación estándar, ya que este tipo de análisis es útil para muestras grandes y cuando se pretende realizar una caracterización de la población por intermedio de la muestra o la estimación de parámetros poblacionales. De este modo, a partir de la calificación de los expertos a cada una de las preguntas que componen los principios de accesibilidad, donde 1 se considera totalmente insatisfactorio y 5 muy satisfactorio, se calculó el promedio de cada una y se analizó su aporte al cumplimiento del criterio de conformidad. Adicionalmente se estableció como regla de análisis que si el promedio calculado de las respuestas de cada pregunta es inferior a cuatro, este es asignado a una zona de *no cumplimiento*, por lo cual se debe recomendar a los desarrolladores del sitio, la corrección de este aspecto para dar cumplimiento a los principios de la norma.

- *Resultados principio perceptible*: en esta sección se presentan los resultados obtenidos de la evaluación heurística realizada al portal Lauvid S.A.S para *perceptible*. Tal como se puede apreciar en el diagrama radial de la Fig. 3, de acuerdo al juicio de los expertos, los aspectos relacionados con las preguntas P1, P2, P3, P4, P7 y P9 en promedio cada una presenta un nivel *no satisfactorio*, por lo cual deben ser corregidas en forma prioritaria, máxime cuando los aspectos P1, P2, y P3, están clasificados como nivel de conformidad A.
- *Resultados principio operable*. En esta sección se presenta los resultados obtenidos de la evaluación heurística realizada al portal LAUVID S.A.S para *operable*. Tal como se aprecia en la Fig. 4, los aspectos que conforman el principio operable se encuentran en la gran mayoría muy cerca de la zona de conformidad, a excepción de los aspectos O2 y O12. Es importante resaltar la prioridad que le debe otorgar al aspecto O12, ya que este aspecto es importante para lograr la conformidad A.
- *Resultados principio comprensible*. En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la evaluación heurística realizada al portal LAUVID S.A.S para *comprensible*. En la Fig. 5 se observa que se deben corregir los aspectos C2, C3, C4, C5, C11 y C12, dando prioridad a los aspectos C3 y C11 por estar incluidos en el nivel de conformidad A.
- *Resultados principio robusto*. En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la evaluación heurística realizada al portal Lauvid S.A.S para

Robusto. Se puede observar en la Fig. 6 que este criterio a juicio de los expertos, presenta un buen comportamiento, ya que no se presentan aspectos con valoraciones bajas, aunque es importante mejorar los aspectos R3 y R5, por encontrarse en zona de cuidado con los promedios más bajos de este aspecto.

Fig. 3

Diagrama radial, de valoración de expertos a cada una de las preguntas que componen el principio de Percetible

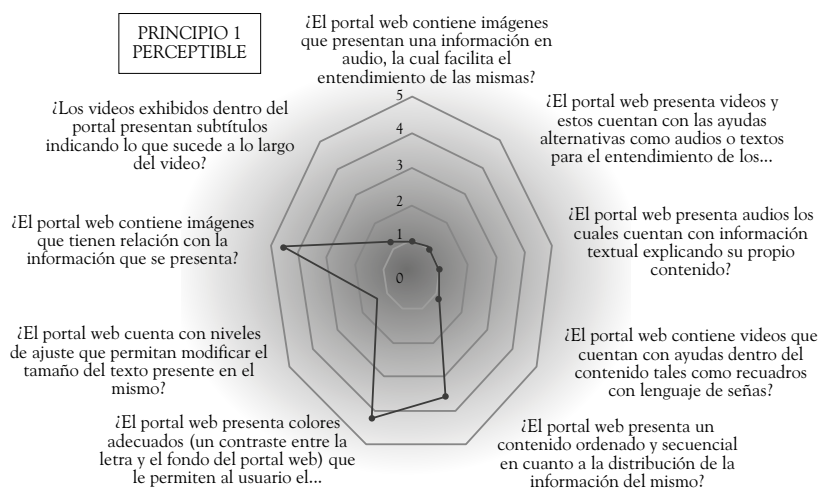


Fig. 4

Diagrama radial, de valoración de expertos a cada una de las preguntas que componen el principio de Operable

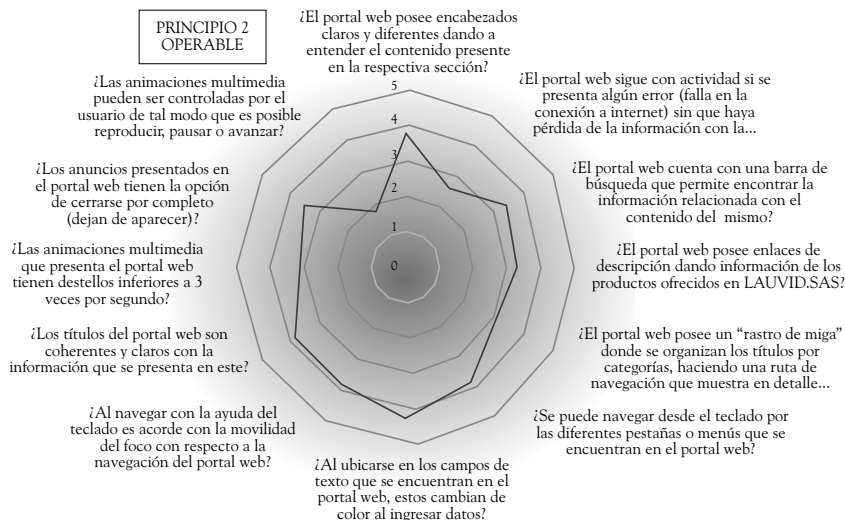


Fig. 5
Diagrama radial, de valoración de expertos a cada una de las preguntas que componen el principio de Comprensible

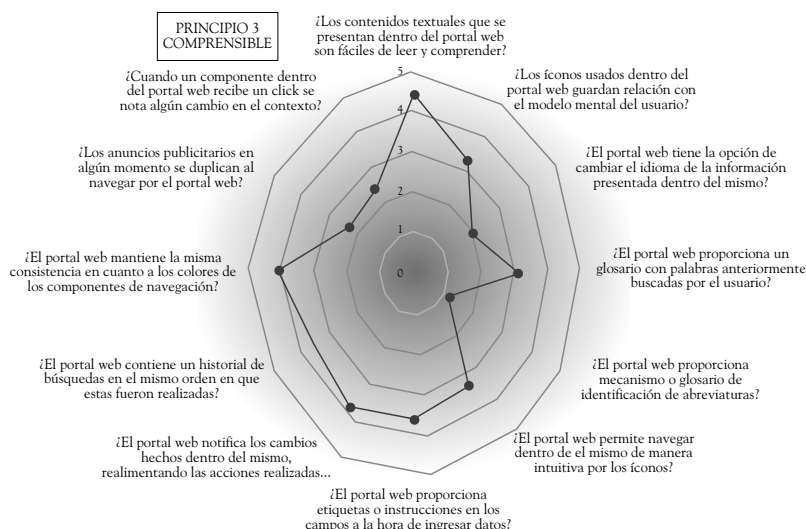
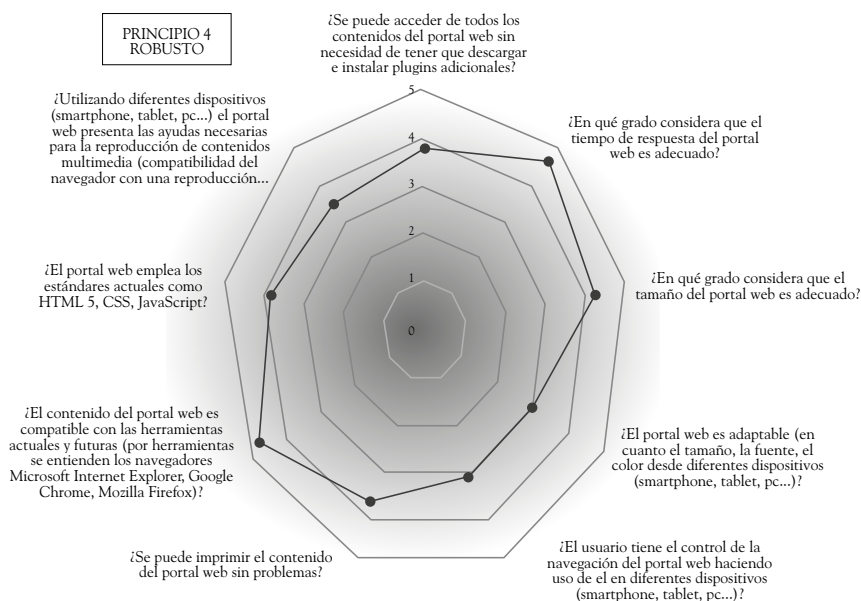


Fig. 6
Diagrama radial, de valoración de expertos a cada una de las preguntas que componen el principio de Robusto



Recomendaciones obtenidas

Como resultado de la evaluación heurística aplicada al portal web Lauvid SAS, se generaron un conjunto de recomendaciones clasificadas por principio, las cuales surgieron a partir de los errores de accesibilidad detectados en el portal (Tabla 6).

Tabla 6
Conjunto de recomendaciones obtenidas

Principio	Recomendaciones
Perceptible	El portal web cuenta con imágenes pero estas deben ir acompañadas de un audio de apoyo, para facilitar su entendimiento. El portal web cuenta con audios y videos, pero estos deben ir acompañados de un texto de apoyo, para complementar la comprensión de su contenido. Los videos presentes dentro del portal web deben ir acompañados de recuadros con lenguajes de señas, como complemento a la información contenida en el video. El portal debe contar con la opción ajustar tamaño del texto que se presenta dentro del mismo.
Operable	Ante una falla en la conexión a internet, no debe perderse la información obtenida anteriormente en el sitio. El portal debe contar con una barra de búsqueda, la cual debe tener una ubicación de rápido y fácil acceso para los usuarios del portal. Las animaciones multimedia del portal deben ser controladas por el usuario, de modo que estas se puedan reproducir, pausar o avanzar.
Comprensible	El portal web debe tener la opción cambiar el idioma de la información presentada dentro del mismo. El portal web debe tener un glosario de términos técnicos y abreviaturas. El portal debe incluir un ícono de inicio para volver a la página principal. Los anuncios presentados en el portal deberán desaparecer si el usuario lo indica y no deberá duplicarse, ni volver a aparecer.
Robusto	Las imágenes presentadas dentro el portal deben ajustarse al tamaño del dispositivo en el cual se esté navegando. Los enlaces del portal web deberán funcionar correctamente, es decir no estar rotos o no funcionar.

Conclusiones y trabajos futuros

El aporte principal del presente trabajo fue la generación de una evaluación heurística de accesibilidad, dado que no se evidenció la existencia de evaluaciones heurísticas desde la perspectiva de la accesibilidad, más si de usabilidad. De este modo, la evaluación propuesta pretende servir de referencia para desarrolladores y diseñadores con el fin de posibilitar la construcción de sitios web accesibles.

Este artículo presentó como aporte adicional el análisis estadístico realizado a los resultados del test heurístico aplicado sobre el portal de Lauvid.com. En este análisis se hicieron diagramas radiales asociados a cada principio de accesibilidad de la norma. Los diagramas realizados permiten una fácil interpretación de los errores identificados en cada uno de los principios de accesibilidad de la NTC5854.

En este artículo se tuvo la oportunidad de explorar y adaptar las diferentes pautas y principios de la norma NTC 5854, de tal modo que, a partir de estos, se generaron una serie de preguntas para evidenciar el cumplimiento de los cuatro principios de la NTC 5854. Así pues, el test heurístico desarrollado pretende complementar las evaluaciones de usabilidad web, desde la perspectiva de accesibilidad.

Como trabajos futuros, se pretende dar continuidad al trabajo realizado mediante la implementación de una aplicación, que permita automatizar el proceso de ejecución de la evaluación heurística. Así mismo, se busca complementar los resultados de la evaluación heurística mediante test de usuarios en el laboratorio de usabilidad de la institución, involucrando a personas con diversidad funcional.

Referencias

- [1] C. C. Digital. (2014 marzo 11) *Colombia Digital* [en línea]. Disponible en: <https://colombiadigital.net/actualidad/noticias/item/6686-derecho-a-la-informacion-como-derecho-fundamental.html>.
- [2] SEOCOLOMBIA. (2009 marzo 09) *SEOCOLOMBIA* [en línea]. Disponible en: <https://www.seocolombia.com/blog/que-es-la-accesibilidad-web/>.
- [3] Icontec Internacional. (2011) *Icontec Internacional* Disponible en: <http://accesibilidadweb.dlsi.ua.es/?menu=principios-2.0>
- [4] A. BARBOSA. (2011 noviembre 15) *Colnodo y programa Gobierno en línea* [en línea]. Disponible en: <https://www.w3c.es/Traducciones/es/WAI/intro/accessibility>

- [5] MinTIC. (2014 mayo 07) *MinTIC* [en línea]. Disponible en: <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-6053.html>.
- [6] N. TÉCNICA. (2012) *NORMA TÉCNICA 5854* [en línea]. Disponible en: <http://ntc5854.accesibilidadweb.co/index.php/15-explicacion-tecnica/descripcion-general/160-introduccion-a-la-norma-ntc-5854?layoutMode=default>.
- [7] Jakob Nielsen, Robert. L Mack, *Usability Inspection Methods*. New York, NY, 1994.
- [8] T. Burriel. (s.f) *Torresburriestudio* [en línea]. Disponible en: <http://www.torresburriel.com/weblog/2008/11/28/plantilla-para-hacer-analisis-heuristicos-de-usabilidad/>
- [9] COCEMFE. (2011) *Observatoria de la Accesibilidad* [en línea]. Disponible en: <https://www.observatoriodelaaccesibilidad.es/accesibilidad/accesibilidad/definicion/>.
- [10] S. L. Henry. (2005 septiembre) *Consortio World Wide Web (W3C)* [en línea]. Disponible en: <http://www.w3c.es/Traducciones/es/WAI/intro/accessibility>
- [11] N. T. C. NTC. (2011) *Norma Técnica Colombiana 5854 2011*. [en línea]. Disponible en: <http://ntc5854.accesibilidadweb.co/>
- [12] M. C. Garcia. *Brechas sociales y ambientales*. Argentina, 2007.
- [13] LAUVID (2017 abril 19) *LAUVID* [en línea]. Disponible en: <http://www.lauvid.com/productos/nuestra-empresa/>.
- [14] C. A. M. Peña. (2014) *quindio.gov.co* [en línea]. Disponible en: <http://quindio.gov.co/home/abc-ley-transparencia.pdf>.

(SUBMISSION 84)

Evaluación del sistema de gestión de expedientes clínicos *Cerene Interactivo*

VICTOR MANUEL PEÑEÑORY

*Facultad de ingeniería**Universidad de San Buenaventura Cali**Colombia*

JOSEFINA GUERRERO GARCÍA

JUAN MANUEL GONZÁLEZ CALLEROS

*Facultad de Ciencias de la Computación**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**México*

Resumen

Las evaluaciones sobre sistemas informáticos para la gestión de información son de gran importancia, ya que permiten, a través de técnicas como las evaluaciones de inspección y test de usuarios, poder recoger información que ayude a identificar las mejoras, cambios o errores que puedan afectar el buen desempeño y la satisfacción de los usuarios mientras usan la plataforma. En este artículo se mostrará cómo fue el proceso de evaluación del sistema de gestión de expedientes clínicos *Cerene Interactivo*, sistema usado para administrar la información y el expediente clínico de pacientes con problemas neuropsicológicos.

Palabras clave: usabilidad, accesibilidad, experiencia de usuario, interacción humano computadora, diseño centrado en el usuario, expedientes clínicos, rehabilitación neuropsicológica, técnicas de evaluación.

Introducción

Cerene es un centro de rehabilitación neuropsicológica y sensorial, que se ha especializado atención de niños y adolescentes, el cual pretende ayudar a que sus pacientes puedan desarrollar y potenciar sus habilidades a través de programas y tratamientos personalizados. Entre los servicios que ofrece el centro están el servicio de neuropsicología, el servicio de psicología y el servicio de rehabilitación en sala multisensorial [1].

Al observar este proceso de administración de la información, investigadores y estudiantes liderados por los doctores Juan Manuel González y Josefina Guerrero, propusieron la construcción de un sistema web para la gestión de expedientes clínicos que se llamaría *Cerene Interactivo*, el cual tendría dentro de sus servicios la generación y administración de las citas de los pacientes, la creación de nuevo paciente junto a su información personal, creación y administración de expediente médico, manejo de información de las diferentes escuelas del estado de Puebla, creación de especialistas, información personal y agenda de consultas.

Para el desarrollo del sistema *Cerene Interactivo* se usó el modelo de diseño centrado en el usuario [2], [3] y la metodología ágil Scrum [4], [5], los cuales permitieron a través de herramientas como las entrevistas, historias de usuarios, lluvia de ideas y la evaluación de prototipos, involucrar a los usuarios finales en el proceso de desarrollo. Este tipo de técnicas les ofrecen a los desarrolladores usar herramientas provenientes de la interacción humano - computador, específicamente la *usabilidad* [6] y la *accesibilidad* [7], las cuales permiten tomar decisiones sobre posibles cambios que deban hacerse en las funcionalidades y la interacción del sistema desarrollado.

Hoy en día se encuentran contribuciones en el área de la evolución de plataformas de registros clínicos electrónicos (EHR). La investigadora Natalie Corrao en su artículo [8], explica la importancia el test de usabilidad en los sistemas EHR. Hultman en su contribución [9], comenta que actualmente existen muchos problemas en el uso de los sistemas EHR por parte de los usuarios finales y explica que esto es debido a que estos sistemas deben ser desarrollados con técnicas DCU y trabajar evaluaciones con usuarios para poder construir estos sistemas realmente usables. La agencia de investigación y calidad de la salud de los Estados Unidos generó un documento [10] para ofrecer un a los desarrolladores herramientas metodológicas y técnicas de diseño y evaluación

que les permitan construir EHR usables y que cumplan con los requisitos que se piden en los centros hospitalarios. Finalmente se encuentran otras contribuciones [11], [12], [13] donde se muestra la importancia del uso de las evaluaciones de usabilidad en los sistemas EHR en el contexto español y colombiano.

En este artículo mostrará la importancia de usar este tipo de herramientas para garantizar eficiencia, seguridad y utilidad de sistemas de gestión y manejo de expedientes clínicos y satisfacción para el usuario final. Para esto en el apartado 2 se describirá qué es un expediente clínico electrónico. En el apartado 3 se resumirá cómo fue proceso de desarrollo del sistema *Cerene Interactivo*. En el apartado 4 se hablará de la importancia del uso de las diferentes herramientas para la evaluación de usabilidad, en el apartado 5 se discutirá, cuáles fueron las evaluaciones y los resultados obtenidos y finalmente en el apartado 6 se discutirán las conclusiones y los trabajos futuros.

Expedientes clínicos electrónicos

El expediente clínico nace en el siglo XIX impulsado por Corvisart, el cual servía como médico dentro de las filas de Napoleón. Corvisart propuso el expediente clínico como respuesta a la dificultad de conocer las diferentes observaciones y juicios sobre sus pacientes y así llevar una bitácora sobre la evolución de la enfermedad en las diferentes visitas que debía realizar. En aquel momento no existían estándares para consignar la información, ni tampoco había una forma de compartir y discutirla con otros profesionales del área. Además, no se contaba con otro tipo de pruebas o exámenes que permitieran ampliar el conocimiento sobre una determinada enfermedad o síntoma de un paciente como lo encontramos en la actualidad [14].

Hoy en día, el expediente clínico es un documento que permite consignar información sobre la condición de un paciente, sobre sus enfermedades, los tratamientos y la evolución de esta en el tiempo. Adicionalmente, también se consigna las apreciaciones y juicios del médico que lleva el caso del paciente. Sin embargo, por la necesidad de ofrecer una mayor información, el expediente clínico posee secciones donde se pueden anexar datos que amplíen el historial o evolución de una determinada enfermedad o tratamiento que esté relacionada con el paciente [14], [15].

A raíz de esto, el expediente clínico se convirtió en un documento construido y compartido entre muchos profesionales de la salud para conseguir y consignar información específica de un paciente. Es por ello que fue de gran importancia establecer estándares dependiendo del tipo de área o especialidad del profesional de la salud [14].

Cabe resaltar que además de ser un documento confidencial, estos expedientes clínicos son abundantes, poseen muchas secciones y son manejados tradicionalmente en papel lo que hace engorroso su archivo y tratamiento de los diferentes documentos cuando son requeridos. Debido a esto aparece el expediente clínico electrónico o digital (EHR en sus siglas en inglés) [15].

Esta evolución del expediente clínico nace de la necesidad de centralizar, dar una mayor accesibilidad, ahorrar espacio, permitir la gestión de acceso y conservación de la información de un paciente en un solo sitio donde se puedan anexar otro tipo de pruebas sugeridas por el médico que está llevando la información del paciente.

Las ventajas de un expediente médico digital es que permite compartir y construir colaborativamente el documento de la evolución y tratamiento de una persona, y evitan errores de duplicidad de información, ayuda y mejora la introducción de los datos, se pueden generar informes, recordatorios o alertas, facilita el seguimiento de protocolos y sirven de soporte para la formación y la investigación ya que se encuentran disponibles todo el tiempo [15].

A pesar de las ventajas que poseen los sistemas de gestión de expedientes clínicos electrónicos, existen ciertos elementos que pueden causar ciertas limitaciones y problemas que pueden entorpecer la interacción y el resultado del trabajo realizado cuando un usuario acceda al sistema. Adicionalmente al manejar tanta información, se debe garantizar la integridad de los datos y un manejo de prevención de errores eficiente para que los usuarios puedan evitar cometer cualquier tipo de error mientras interactúan con el sistema. Además, muchos de estos sistemas son diseñados a partir del uso de plantillas estandarizadas que utilizan los usuarios en papel, lo que muchas veces provoca la creación de formularios largos donde se debe llenar mucha información, lo cual se vuelve lento y engorroso para la persona que debe diligenciarlos.

Es por esta razón que para el diseño de este tipo de plataformas o sistemas en donde se gestiona gran cantidad de información útil y confidencial, no solo deben seguir los estándares establecidos, sino que debe ofrecer al usuario una herramienta que sea fácil de usar, que sea útil, y que no requiera un aprendizaje muy alto, además que cumpla con las expectativas de los usuarios. Ello radica la importancia, cuando se desarrolla este tipo de sistemas, de poder evaluar la usabilidad, utilidad, accesibilidad y experiencia del usuario para poder obtener una retroalimentación que garantice la funcionalidad del sistema y la satisfacción de los usuarios finales.

Plataforma Cerene Interactivo

De acuerdo a las visitas realizadas al Cerene, se observó que los procesos se llevan a cabo de forma manual; es decir, el registro de pacientes y su historia clínica se encuentran almacenados en archivos de papel, lo cual ocasiona problemas, como una gran cantidad de expedientes clínicos, que requieren de un mayor espacio por cada expediente, lo que aumenta la dificultad para almacenar, así como la necesidad de contar un espacio acondicionado para los archivos, la falta de capacitación del personal requerido para el manejo del archivo, altos costos en papel, espacio, infraestructura y en personal para hacer eficiente un archivo tradicional de expedientes clínicos tradicionales, la existencia de duplicidad de archivos y expedientes de pacientes, donde el manejo de los documentos se vuelve engorroso, provocando un bajo control y seguimiento de los documentos, la pérdida de documentos, la consulta de la información es lenta debido a que la búsqueda es engorrosa.

Como consecuencia se tiene una mala organización de la información y una deficiente atención al paciente. Es por esto que se le implementa en Cerene un sistema de gestión de información para expedientes clínicos que contribuya a la automatización y mejora de tareas y procedimientos hospitalarios, permitiendo una comunicación eficiente, posibilitando la toma de decisiones de forma más rápida y segura, acortando los ciclos productivos y reduciendo tiempos y costos de los procesos

Para el desarrollo del sistema se optó por la metodología ágil Scrum [4], [5]. Durante la implementación del sistema se tuvo en cuenta la identificación de requerimientos donde se trabajó a través de entrevistas y observaciones participativas, permitiendo conocer el contexto en el que se ejecutan las actividades que se desarrollaron en el sistema. Igualmente se usaron herramientas como las historias de usuario, para conocer un poco la percepción que tenía el personal de Cerene sobre las diferentes funcionalidades, lo que permitió identificar fácilmente las distintas tareas que debían ser implementadas en el sistema.

El sistema se implementó con una arquitectura de n capas [16], [17], ya que algunas de las ventajas de esta arquitectura es el bajo costo de administración de clientes, alta accesibilidad, flexibilidad de crecimiento, escalabilidad e independencia de los repositorios y la base de datos, alta disponibilidad y tolerancia a fallos. Igualmente se desarrolló en HTML 5 [18], JavaScript [18], Ajax [19], PHP [20] Estructurado y algunas librerías como jQuery, Bootstrap, o JSON (Java Script Object Notation) [21] para complementar el desarrollo y dar efectos visuales más agradables al usuario.

El sistema se diseñó de forma responsiva con el fin de que se pueda acceder en cualquier tipo de dispositivo sin que se pierda la visualización de datos en la pantalla, adicionalmente a esto, el sistema posee un conjunto de varias funciones que permiten la administrar los datos de los pacientes y el control de citas, agilizando de esta manera, la atención de un paciente, reduciendo errores humanos y obteniendo la información en tiempo real para cualquiera de los usuarios del sistema que cuenten con privilegios para acceder a él.

También se implementó un servidor web para poder ser consultado desde cualquier computadora o dispositivo, dando la posibilidad de acceder al sistema desde cualquier punto de la red o internet. Este sistema de información almacena de forma digital los datos de las citas programadas y la información del expediente clínico del paciente. Lo anterior, sin dejar de lado la impresión de documentos. Incluso para el acceso al sistema se implementó un control de acceso que cuentas con las políticas de acceso que estipuló el director del centro Cerene, ofreciendo diferentes niveles que permiten acceder a diferentes funciones y recursos del sistema.

Sin embargo, para poder garantizar que la plataforma hubiera cumplido con los requerimientos y la satisfacción del personal de Cerene, se realizaron una serie de pruebas de que ofrecieron una retroalimentación adecuada, para analizar los posibles cambios y mejoras al sistema.

Herramientas para el diseño y evaluación de plataformas usables y accesibles

Para poder garantizar el cumplimiento de los requerimientos y expectativas del personal de Cerene, se optó por realizar pruebas que permitieron recoger información y ofrecer una retroalimentación de las posibles mejoras a la plataforma, se usaron herramientas, técnicas y teorías de interacción humano - Computadora (en adelante HCI).

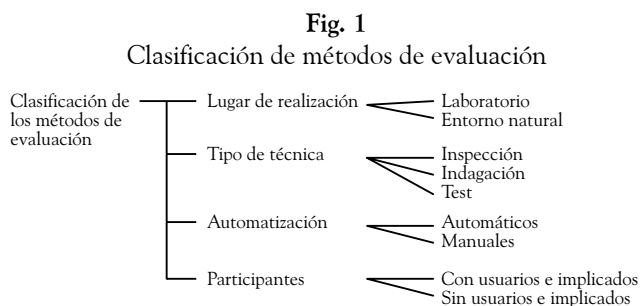
La Association for Computing Machinery (en adelante ACM por sus siglas en inglés), define la disciplina del HCI como “aquella que se encuentra relacionada con el diseño, evaluación e implementación de sistemas interactivos para el uso de los humanos, y con el estudio de los fenómenos más importantes con los que está relacionado”. Dentro de los tópicos relacionados con el HCI se encuentran temas de usabilidad, accesibilidad y Diseño Centrado en el Usuario (en adelante DCU) [7].

La usabilidad se define en la ISO 9241-11 [6] y la IEEE 98 como la medida en la que cualquier producto, sea tangible o intangible, pueda usarse por determinados usuarios para lograr alcanzar los objetivos de forma efectiva y eficiente, sin olvidar la satisfacción que puedan generar en un contexto determinado [7]. La accesibilidad se define hoy en día como la facultad de permitir el uso de los productos al mayor número de personas sin importar su discapacidad física o mental, en otras palabras, es el acceso a cualquier tipo de información o contenido por medio de un producto universal en donde todas las personas puedan usarlo y entenderlo si ningún impedimento o barrera tecnológica [7]. El DCU es definido como “un enfoque de diseño cuyo proceso está dirigido a la información de las personas que van a hacer uso del producto”, siendo el DCU usado como marco de trabajo, investigación y desarrollo de principios de diseño de interfaces de usuario [2], [3].

El HCI y el DCU sugieren que una de las actividades pilares de todo proceso de desarrollo es la evaluación. Este proceso, que debe trabajarse durante todo el ciclo de vida del desarrollo del sistema interactivo, posee un conjunto de métodos y técnicas que permiten analizar con profundidad la funcionalidad, la usabilidad, la accesibilidad y la experiencia de usuario durante las diferentes etapas del desarrollo. A través de este conjunto de herramientas se recibe retroalimentación por parte de los usuarios y expertos, las cuales servirán para enriquecer y mejorar el producto interactivo [7].

Entre los objetivos de la evaluación está comprobar la extensión de la funcionalidad del sistema, el efecto de la interfaz en la interacción con los usuarios, e identificar cualquier problema con el sistema que puedan causar problemas inesperados y confusiones entre los usuarios, todo esto con el fin de garantizar que el sistema interactivo permita que las actividades de usuario se puedan realizar más fácilmente [7].

Los métodos de evaluación se pueden clasificar según el lugar de realización, tipo de técnica, automatización y manejo de participantes. En la Fig. 1 se puede ver una representación de la clasificación de los métodos.



Si se observa detenidamente la Fig. 1 existe una clasificación por tipo de técnica. Esta clasificación por técnica se divide en *inspección*, *indagación* y *test*. Las técnicas de inspección son un conjunto de métodos y herramientas que permiten evaluar los sistemas interactivos a partir de la participación de personas expertas, que identifiquen el grado de cumplimiento del sistema, basándose en aspectos y características mínimas que se deben cumplir para decir si el sistema es usable y accesible. Entre los métodos y herramientas que hacen parte de esta clasificación son las pruebas heurísticas, los recorridos y la inspección de estándares [7].

Las técnicas de indagación permiten acercarse al conjunto de usuarios y al contexto, a través de observaciones y entrevistas, para lograr un mayor entendimiento de las actividades que se convertirán en funcionalidades del sistema. Entre las técnicas sugeridas se encuentran las observaciones de campo, los grupos de discusión, las entrevistas, los cuestionarios y las grabaciones del uso. Las técnicas de test permiten que los usuarios puedan acercarse al sistema que se está desarrollando a través de prototipos y realizar diferentes tareas y actividades. El objetivo de este es analizar cómo el usuario interactúa y ejecuta las tareas a través de las diferentes funciones ofrecidas por el sistema. Entre las técnicas más usadas en este tipo de pruebas están las medidas de prestaciones, el pensamiento en voz alta (*thinking aloud*), la interacción constructiva, el test retrospectivo, el método del conductor y la ordenación de tarjetas (*card sorting*) [7].

A pesar de que se cuenta con un conjunto de técnicas que permiten evaluar la funcionalidad, la usabilidad y la accesibilidad de un sistema interactivo, también se debe contar con lo que sintió el usuario en el momento en que realizó las pruebas, y para ello existe la experiencia de usuario (en adelante UX). La UX se define como la sensación, sentimiento respuesta emocional, valoración y satisfacción obtenida de la interacción con el producto [22], que es precisamente lo que se busca medir durante el análisis de la información obtenida a través de varias técnicas de indagación y test de usuarios, junto a pruebas como el PrEmo [23], la escala de usabilidad del sistema (SUS) [24] y el cuestionario de usabilidad del sistema informático de IBM (CSUQ) [25].

En conclusión, a partir del uso de estas técnicas se puede obtener información útil que permite garantizar el desarrollo de un sistema interactivo como el de gestión de expedientes clínicos electrónicos de Cerene, para que sea un sistema completo y amigable, que ofrezca toda la funcionalidad y cumpla con los requisitos y expectativas que busca el personal del centro para los procesos y actividades que realizan con sus pacientes, las cuales deben realizarse de una forma ágil, eficiente, segura y de bajo costo.

Evaluación y análisis del sistema de gestión de expedientes clínicos *Cerene Interactivo*

Durante las etapas iniciales del desarrollo del sistema de gestión de expedientes clínicos *Cerene Interactivo*, se usaron técnicas de indagación como observaciones, sesiones colaborativas, historias de usuario y entrevistas. Con el uso de estas herramientas se logró obtener información importante sobre el contexto, los usuarios, las necesidades y expectativas, los requerimientos, las tareas y actividades, hasta se plantearon los objetivos a cumplir respecto a la funcionalidad, la usabilidad y la accesibilidad con el sistema.

Luego de detectar toda esta información inicial se procedió a la construcción de prototipos, los cuales fueron evaluados usando técnicas de test de usuarios como el *método del conductor*, junto al personal del centro, lo cual permitió refinar el diseño del sistema de gestión antes de su implementación.

Ya con el sistema implementado, se procedió a realizar una serie de pruebas a través del uso de las diferentes técnicas de evaluación, las cuales se explicarán a continuación:

Evaluación de inspección

Durante esta actividad, se usaron las técnicas de evaluación heurística y recorrido cognitivo con el fin de analizar el formulario que se construyó para el registro de información del expediente clínico.

- *Evaluación heurística*: para la evaluación heurística se construyó una planilla con una serie de aspectos y características que se deben cumplir en lo mínimo para este tipo de sistemas de gestión de información que usan formularios. Cada característica se evalúa de 1 a 5, donde la escala más baja es *desacuerdo* y la escala más alta *muy de acuerdo*. Entre los aspectos que se manejaron en la prueba heurística están:
- *Aspectos generales*: se evalúan características sobre la información que se presenta y se solicita en el sistema, la reutilización de campos, duplicidad de información y la relación de los títulos relacionados con las diferentes secciones del sistema.
- *Textos*: se tiene en cuenta si los textos usados dentro del sistema son comprensibles, intuitivos y consistentes al contexto y al grupo de usuarios al que va dirigido el sistema.

- *Organización*: este aspecto dentro de la prueba heurística, permite evaluar la organización, agrupación, consistencia y el uso de etiquetas de los diferentes campos, radio *buttons* y *checks box* utilizados dentro del formulario.
- *Tipos de campos*: se evalúan la cantidad, los formatos y las dimensiones de los campos.
- *Funcionamiento*: se analiza la funcionalidad de los campos, la accesibilidad para personas de otros países y la prevención de errores.
- *Ayuda*: en este aspecto se analiza si el formulario y el sistema posee algún tipo de ayuda que guíe al usuario para el buen uso del sistema.
- *Botones*: se busca evaluar la funcionalidad de los botones usados en el sistema y el formulario.
- *Errores*: durante la evaluación de este aspecto se busca encontrar evidencias del uso de técnicas de prevención de errores durante la elaboración de los formularios.
- *Retroalimentación*: este aspecto tiene en cuenta la retroalimentación por parte de los campos de formulario. En este análisis se encontró que se debe mejorar la retroalimentación mientras se usa el sistema
- *Respuesta*: para la evaluación de este aspecto se busca encontrar evidencias de que el sistema realiza avisos continuos sobre acciones que debe realizar o que ya haya realizado el usuario.
- *Legalidad*: se pretende que el sistema tenga estrategias relacionadas a las cláusulas de protección de datos personales. En esto no se encontró evidencia alguna y se propone incluir elementos de protección de datos.
- *Accesibilidad*: se evalúan las estrategias usadas para el diseño universal del sistema y del formulario.
- *Formularios extensos*: lo que se busca con esto es poder analizar si el formulario no se vuelve engorroso durante la visualización y el llenado del mismo.

En la Tabla 1 se puede visualizar los problemas encontrados durante la evaluación heurística.

Tabla 1
Problemas encontrados durante la evaluación heurística

Evaluación heurística	Recorrido cognitivo	Test de usuarios
Los campos en el cual se pide información no son reutilizados.	Problemas con el formato responsivo	Existencia de campos que no eran consistentes con las plantillas de expedientes clínicos en papel.

Evaluación heurística	Recorrido cognitivo	Test de usuarios
Campos solicitan varias veces la misma información.	Problemas con los campos	Existencia de campos adicionales que eran innecesarios
Textos demasiados largos y poco comprensibles.	Falta de botones de selección y listas para seleccionar diferentes opciones.	Falta de verificación de si los campos son obligatorios
Preguntas complejas.	Falta de uniformidad de los campos	Etiquetas con nombre confusos o que no corresponden a la función del campo
Campos que solicitaban información importante no se encuentran al inicio del formulario.	Problemas de etiquetas en los campos de los formularios	Campos repetidos
Agrupaciones no poseían algún tipo de etiqueta que permitieran reconocer el tipo de preguntas.	Problemas en la visualización de los datos en el momento de consultar la información	Falta de campos que complementen respuestas a preguntas dicotómicas
Campos dependientes no deshabilitados.	Problemas en la agenda de citas	Falta de listas de selección de opciones
Falta de uniformidad en el tamaño de los campos.	Problemas con la creación de usuario y contraseña de usuarios nuevos	Falta de campos que deben habilitarse o deshabilitarse según la elección del usuario
No hay validación de caracteres.		
No se realiza el salto automático entre campos		
No hay comprobación de errores o campos vacíos en el momento del envío.		
No usa otro idioma.		
No hay ayudas que permitan guiar al usuario.		
No es claro cómo identificar y diferenciar los campos obligatorios y los opcionales.		

Evaluación heurística	Recorrido cognitivo	Test de usuarios
Distinción inexistente entre los botones primarios y los secundarios.		
El sistema no posee un sistema visualización de los errores y no se usan símbolos o marcas que muestren donde están.		
No hay retroalimentación adecuada.		
Falta de avisos emergentes al usuario.		
No hay contenido sobre protección de datos.		
Falta de usos de técnicas de accesibilidad.		

A partir del análisis de las fallas encontradas en la plataforma Cerene se propusieron las siguientes sugerencias:

- Realizar una depuración de aquellos campos innecesarios o que solicitan información previamente solicitada.
- Revisar de nuevo las preguntas y textos del formulario y volver a redactarlas.
- Revisar de nuevo la organización de los campos por importancia, agruparlos según similitud y etiquetarlos, y deshabilitar aquellos campos que no se van a usar.
- Darle uniformidad al tamaño de los campos de los diferentes formularios y expedientes clínicos.
- Incorporar revisión de campos, validación de caracteres, y salto automático entre campos.
- Adecuar el sistema para ofrecer un segundo idioma.
- Realizar una clasificación de campos por importancia, adicionalmente anexar campos de ayuda emergente que permitan indicarle al usuario cómo llenar el campo.
- Revisar la jerarquía de los botones y darle una distinción gráfica a los más importantes.
- Incorporar la función de *cambiar tamaño de los textos*.

- Ofrecer ventanas emergentes o marcas para prevenir errores de acciones de los usuarios.
- *Recorrido Cognitivo*: durante el recorrido cognitivo, se realizaron diferentes actividades sobre sistema. Las actividades que se ejecutaron fueron: Acceder a la página cerene.mx, buscar el acceso a *Cerene Interactivo*, acceder con el usuario y contraseña de administrador, visualizar la página o muro de bienvenida del sistema, revisar cada opción del menú del sistema (pacientes, usuarios, citas, escuelas), Crear un paciente, llenar datos del paciente, llenar el expediente clínico, crear usuario, llenar datos de usuario, Crear Escuela, Llenar datos de escuela.

Durante la interacción se encontraron los siguientes problemas:

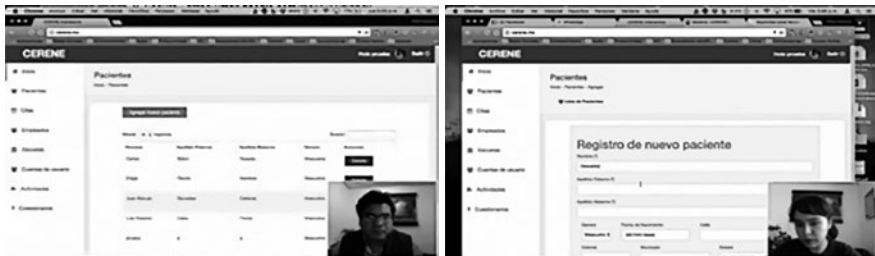
- Problemas con el formato responsivo de la página
- Problemas con la funcionalidad de algunos campos.
- Falta de botones de selección y listas para escoger diferentes opciones.
- Falta de uniformidad de los campos.
- Problemas con la etiquetas en los campos de los formularios, donde se usan palabras muy complejas o ilegibles.
- Problemas en la visualización de los datos en el momento de consultar la información.
- Problemas en la agenda de citas.
- Problemas con la creación de usuario y contraseña de usuarios nuevos.

Al encontrar mucha similitud con algunos de los problemas encontrados durante la evaluación heurística, se optó por parte del equipo de desarrolladores, tener en cuenta estas problemáticas detectadas como de *prioridad alta*, y seguir las sugerencias obtenidas durante la evaluación con el experto.

Test de usuarios

Simultáneamente a las evaluaciones de inspección, se realizaron pruebas de usuario, donde se trabajaron las mismas actividades del recorrido cognitivo. Adicionalmente a esto se usó la técnica de *pensamiento en voz alta* para que los usuarios expresaran sus pensamientos durante la interacción con el sistema *Cerene Interactivo*. Las pruebas realizadas fueron grabadas a partir del *software* Silverback [26] para el sistema Mac OS, la cual permite grabar la pantalla mientras activa la cámara frontal del computador para grabar el rostro del usuario para un posible análisis emocional a través de las expresiones faciales. Silverback También permite crear sesiones de prueba y anexar observaciones.

Fig. 2



Esta prueba se implementó con dos empleados de Cerene (director y secretaria), y se trabajó con el *método del conductor* donde se contó con el acompañamiento de un evaluador que conocía el sistema *Cerene Interactivo*. El trabajo del evaluador fue dar instrucciones a los diferentes usuarios para que las desarrollaran durante la interacción con el sistema, y consignar las observaciones y problemas con los que se encontraron durante la prueba, entre ellos: ellos la existencia de campos que no aplicaban para las plantillas de expedientes clínicos en papel, existencia de campos adicionales que eran innecesarios, la falta de verificación de diligenciamiento de los campos obligatorios, etiquetas con nombre confuso o que no correspondían a la función del campo, campos repetidos, falta de campos que complementaran respuestas a preguntas dicotómicas, en la cuales se espera una respuesta del porqué se eligió cierta opción, falta de listas de selección de opciones, campos que debían deshabilitarse según la elección del usuario, entre otras.

Luego de realizar la prueba se le aplicó un conjunto de preguntas a los evaluados para poder analizar la funcionalidad y la utilidad del sistema. Entre los comentarios de los usuarios se encontró que el sistema estaba acorde a las necesidades del centro, cumple con los requisitos mínimos que poseen las plantillas de expedientes clínicos y que deben realizarse algunas correcciones, por ejemplo, campos que nos son necesarios. Algunas sugerencias estuvieron relacionadas con la conectividad, como por ejemplo que el sistema fuera manejado a través de ethernet, ya que el internet inalámbrico que poseía el centro no era el mejor y había oficinas donde no llegaba la señal del *wifi*, lo que podría impedir trabajar eficientemente por causas de *lag* con el sistema. Adicionalmente recomendaron a futuro que el sistema pudiera tener la opción de grabar en audio las sesiones con los pacientes, y que estas queden cargadas junto con el expediente clínico. Este conjunto de observaciones y sugerencias fueron consignadas en un documento que fue entregado al equipo de desarrollo con el fin de dar solución a los inconvenientes encontrados por los evaluados.

Pruebas de usabilidad y experiencia de usuario

Junto con las pruebas anteriores, se realizaron pruebas de usabilidad y satisfacción a partir de dos herramientas. Para el análisis de usabilidad del sistema se usó la escala de usabilidad del sistema (en adelante SUS) [24], en la que se contó con la participación de ocho personas, las cuales habían usado el sistema *Cerene Interactivo*. En esta prueba se le hicieron las diez preguntas de la plantilla SUS, las cuales fueron calificadas de 1 a 5. Los resultados con las puntuaciones más bajas, se encontraron en las preguntas 1, 5 y 8, relacionadas a continuación:

- *Pregunta 1* “creo que me gustaría usar este sistema con frecuencia” obtuvo una calificación de 1.75, debido a que la percepción de algunos de los usuarios es que el sistema poseía un mal funcionamiento en varias funciones que poseía.
- *Pregunta 5* “hay integración entre los elementos del sistema”, obtuvo una calificación promedio de 1,75. Esto es porque los usuarios encontraron durante las pruebas, que varios de las funciones a veces se podían ejecutar y otras veces no, lo que provocaba problemas en la interacción con el sistema. Para solucionar esto se propone identificar los errores y corregirlos.
- *Pregunta 8* “se percibe demasiada inconsistencia en el sistema”, se obtuvo una calificación de 1.75, y esto es ocasionado por el diseño de la aplicación, donde los colores y la visualización de la información no eran consistentes. Para resolver este inconveniente se propone rediseñar la interfaz y corregir aquellas funcionalidades que estén funcionando erróneamente.

Para la evaluación de *satisfacción*, se empleó el cuestionario de usabilidad del sistema informático de IBM [25]. Esta herramienta posee 19 preguntas, las cuales analizan *eficiencia*, *satisfacción del usuario*, *amigable* y *fácil de usar*, *manejo* y *prevención de errores*, *estética de la interfaz* y *utilidad del sistema*. En esta prueba se aplicó nuevamente a las ocho personas que hicieron la prueba de *usabilidad*. La métrica de evaluación es de tipo escalar de 1 a 7 en donde la calificación más baja corresponde a *totalmente desacuerdo* y la más alta corresponde a *totalmente de acuerdo*. Los resultados más bajos obtenidos se reflejaron en las preguntas 9,10,11,13:

- *Pregunta 9* “El sistema da mensajes de error que claramente me dicen cómo solucionar los problemas” obtuvo un valor promedio de 5, debido a que cuando existe un error, solo reenvía a otra página donde aparecen errores de HTML, sin alguna explicación. Para solucionar esto se propone mejorar el sistema de mensajes de error y el sistema de validación de entradas.

- *Pregunta 10* “Cada vez que cometo un error al utilizar el sistema, se puede recuperar fácil y rápidamente”, se obtiene como promedio una calificación de 5, y esto es porque los campos aceptan valores inválidos sin realizar validaciones. La solución a esto es validar los campos antes de ser enviados.
- *Pregunta 11* “La información (como la ayuda en línea, los mensajes en pantalla, y otra documentación), proporcionada con el sistema es clara”, obtuvo una calificación de 4,75; lo cual indica que los conceptos e instrucciones que se usaron de ayudas en el programa no son comunes ni claras para los usuarios. Para ello se propone crear un glosario de términos además de dar explicaciones claras y sencillas de lo que tiene que hacer el usuario.
- *Pregunta 13* “La información proporcionada por el sistema es fácil de entender” se obtuvo un promedio de 4,875, porque los campos no expresan el porqué de la información. Para esto se propone presentar de una forma clara y sencilla la razón del porqué se solicita cierta información al usuario.

Conclusiones y trabajos futuros

A partir de las diferentes pruebas (heurísticas, test de usuarios y pruebas de usabilidad y experiencia de usuario), realizadas durante la evaluación de la plataforma Cerene y su sistema de gestión de expedientes clínicos, se comprobó la importancia de involucrar en los procesos de diseño e implementación de este tipo de plataformas a los usuarios finales y expertos en el área, ya que son ellos los que aportan ideas y sugerencias, y detectan posibles cambios debido a que ellos poseen el conocimiento de cómo se realiza la actividad y cómo se podría realizar de forma más eficiente.

Durante el análisis de los resultados de la prueba heurística realizada sobre la plataforma *Cerene Interactivo*, se encontró que el sistema posee deficiencias que hacen que ésta se perciba como *incompleta*, lo cual genera descontentos en su funcionalidad y eficiencia.

Sin embargo, a pesar de que se encontraron estas deficiencias, según los comentarios de los diferentes usuarios entrevistados durante las pruebas (test de usuarios, pruebas de usabilidad y experiencia de usuario), el sistema funciona y es útil para ciertas tareas que se deben realizar. Cumple con el propósito final de gestionar la información de expedientes clínicos y manejo de citas de pacientes y especialistas. Siendo *manejo, consistencia, control y validación* de los campos -de los diferentes formularios que posee el sistema-, *control y mensajes de error, clarificación de la información o contenido, guías de ayuda y descripción*

de solicitud de información en algunos campos, los elementos del sistema que deben ser mejorados.

Finalmente, para la siguiente parte del desarrollo de sistema *Cerene Interactivo*, se realizarán los cambios y mejoras encontradas con las pruebas y sugeridas por los diferentes usuarios evaluados, con el fin de poder entregar al final un producto completo para CERENE.

Este trabajo se ha hecho posible gracias al Centro de rehabilitación neuropsicológica infantil (CRENE) por ofrecernos la oportunidad de construir una solución que enriquecerá los servicios que ellos ofrecen a sus pacientes. Adicionalmente se agradece el apoyo y compromiso, a la Benemérita Universidad de Puebla en México y a la Universidad de San Buenaventura Cali y la Universidad del Cauca en Colombia.

Referencias

- [1] Centro de rehabilitación neuropsicológica infantil. CRENE [en línea] Disponible en: www.cerene.mx
- [2] Y. Hassam, S. Ortega. *Informe Apei sobre usabilidad*. Asociación profesional de especialistas en información. España: Licencia Creative Commons, 2009. P. 7-72. ISBN: 978-84-692-3782-3.
- [3] ISO 9241-210:2010. *Ergonomics of human – system interaction – part 210: Human-centered design for interactive systems*.
- [4] Sutherland, J. *Scrum: El arte de hacer el doble de trabajo en la mitad de tiempo*. Grupo Planeta (GBS), 2015.
- [5] Wibas. *Scrum Compact*. Version 5.0. ISBN 978-3-981-5837-1-7. (2013).
- [6] Organización Internacional de Normalización. (1998) *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (vdt)-iso*.
- [7] Abascal. J., Cañas. J., Gea. M., Gil. A.B., Lorés. J., Martínez A., Ortega M., Valero P, and Vélez M. (2006) *Libro Interacción Persona Ordenador*. Asociación Persona Ordenador AIPO. Licencia Creative Commons, 2006
- [8] Corrao. N, Robinson. A, Swiemik. M, Naeim. A. (2010). *Importance of Testing for Usability When Selecting and Implementing an Electronic Health or Medical Record System*. Journal Oncology Practice [en línea] Doi: 10.1200/JOP.200017.
- [9] Hultman G, Marquard J, Arsoniadis E, Mink P, Rizvi R, Ramer T, Khairat S, Fickau K, Melton GB (2016). *Usability Testing of Two Ambulatory*

EHR Navigators [en línea] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27437057>

- [10] Agency for Healthcare Research and Quality. *EHR Usability Toolkit: A Background Report on Usability and Electronic Health Records*. U.S. Department of Health and Human Services. [en línea]. Disponible en: http://www.dukeinformatics.org/wp-content/uploads/2014/11/Johnson-EHR_Usability_Toolkit_Background_Report.pdf
- [11] Renau, J, Pérez-Salinas. I. Evaluación de la calidad de las historias clínicas. *Papeles Médicos*, vol. 10, pp. 32-40, 2001.
- [12] Rueda-Clausen. C. La historia clínica informatizada. Evaluación de los casos colombiano y español. *Revista MedUnab*, vol. 9. 2006.
- [13] Gutiérrez. J, Manrique. R, Montoya. Liliana, Pérez. A, Arango. P, Gutiérrez. E, Márquez M, Restrepo. A. Evaluación de la historia clínica sistematizada en la relación médico paciente de las IPS adscritas a Susalud, Medellín. 2002. *Revista CES Medicina*, vol. 17. 2003.
- [14] Bonis Sanz, J. “El futuro de la historia clínica digital: Más clínica, Más digital”, presentada en: XXVIII Congreso de Medicina de Familia y Comunitaria, Las Palmas, Gran Canaria, 2008.
- [15] Ramos-Lopez, J. Archivo de historias clínicas digitalizado, una solución previa a la historia clínica electrónica. *Papeles Médicos*, vol 18. 2009.
- [16] Jang BM, *et al.* Design and implementation of the system architecture for sharing medical information based HL7-CDA among hospitals by the XDS model of IHE. IFMBE Proceedings 2007; en: Magjarevic R., Nagel J.H. (eds) *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering* 2006. IFMBE Proceedings, vol 14. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [17] Naranjo, M. Fundamentos de definición de arquitectura de software. Presentado en: XXV Salón de la informática de ACIS. 2005.
- [18] Gauchat, J. D. (2012). *El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript*. Marcombo.
- [19] Pérez, J. E. (2008). AJAX.
- [20] Thibaud, C. (2006). *MySQL 5: instalación, implementación, administración, programación*. Ediciones ENI.
- [21] Álvarez, M. A. (2010). *Manual de jQuery* [en línea] Disponible en: http://dmaspv.com/files/page/07042011180222_manual%20de%20jquery%20en%20pdf%20desarrollowebcom.pdf

- [22] Bevan, N. (2008) *UX, usability and ISO standards. Now let's do it in practice: User experience evaluation methods in product development. Proceedings of the workshop on CHI 2008* [en línea] Disponible en: www.cs.tut.fi/ihte/CHI08_workshop/papers/Bevan_UXEM_CHI08_06April08.pdf
- [23] Desmet P. *Measuring Emotion: Development and Application of an Instrument to Measure Emotional Responses to Products*. Springer. ISSN: 1571-5035. 2005
- [24] Sauro J. (2011). *Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS)*. [en línea]. Disponible en: <https://measuringu.com/sus/>.
- [25] Lewis J.R. *IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use*. Copyright IBM Corporation 1993. All rights reserved.
- [26] Silverback 3. *Guerrilla Usability testing* [en línea]. Disponible en: <http://silverbackapp.com/>

(SUBMISSION 49)

Arquitectura de reconocimiento multimodal del estado emocional de un niño en un contexto educativo

JAVIER ALCALÁ

ENRIQUE GONZÁLEZ

*Pontificia Universidad Javeriana**Bogotá, Colombia*

Resumen

Este trabajo propone una arquitectura para el reconocimiento multimodal de emociones de un niño, relevantes al proceso de aprendizaje en un contexto educativo. La arquitectura propuesta incorpora las siguientes modalidades: verbal, corporal, de tarea y fisiológica. En el desarrollo de la investigación, se exploraron conceptos de educación y robótica, estados mentales, modelos de emociones e investigaciones efectuadas respecto al reconocimiento de emociones, en particular con técnicas y dificultades relativas al reconocimiento multimodal. Se exploraron algunas posibilidades de software existente y que podría ser utilizado en la construcción de una solución integrada que implemente la arquitectura propuesta para el reconocimiento multimodal de emociones.

Palabras clave: reconocimiento de emociones, computación afectiva, interacción humano robot.

Introducción

La utilización de robots en educación presenta beneficios tanto para alumnos como para docentes. La interacción entre robots y humanos mejora la efectividad del aprendizaje y la motivación de los estudiantes, en tanto se encuentran en un ambiente que incentiva el interés del alumno, la aplicación práctica del conocimiento y un entorno propicio para el aprendizaje [1], [2].

Al interactuar con un robot, la experiencia se hace tangible y se logra mayor compromiso por parte del alumno en comparación a lo que se alcanzaría con la intermediación de video o mecanismos de realidad virtual [2]. Su uso en este contexto no implica el remplazo del maestro, sino que el propósito es facilitarle herramientas que le permitan llevar un rol de organizador, guía, tutor y orientador del proceso de aprendizaje [3].

La interacción entre robots y humanos se desarrolla en situaciones que incluyen el uso de comunicación verbal y no verbal en diversos escenarios; educativos, situaciones de entretenimiento, cuidado de personas de la tercera edad, ambientes de hogares inteligentes, entre otros [4], [2]. Con el propósito de brindar una retroalimentación efectiva al sistema robótico, es necesario hacer seguimiento al estado emocional y a la intencionalidad del usuario [5]. A la combinación de estos dos factores, se le denomina *estado mental* [6], también conocido como *estado afectivo* [7].

En este trabajo se propone una arquitectura para el reconocimiento multimodal del estado emocional de un niño en un contexto educativo. Para ello, en la Sección 2 se presenta la relación entre educación y robótica, en la Sección 3 se desarrollan los conceptos de *estado mental*, *estados emocionales* y *computación afectiva*, presentando modelos de emociones relacionados al contexto educativo. Más adelante, en la Sección 4 se relacionan técnicas específicas para el reconocimiento de emociones a través de señales de voz y de video, mediante la utilización de diferentes dispositivos sensoriales. Posteriormente, en la Sección 5 se presentan estudios relacionados con técnicas para el reconocimiento multimodal de emociones. A partir de estos trabajos, en la Sección 6 se destacan los componentes de *software* que podrían ser utilizados en la construcción de una solución integrada. En la Sección 7 se detalla la arquitectura propuesta. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo y las opciones de trabajo futuro.

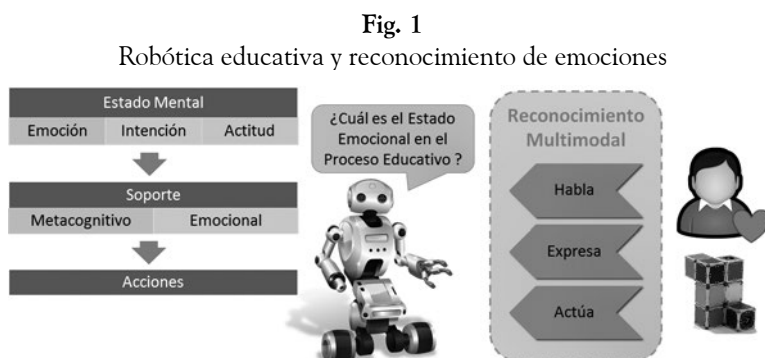
Educación y robótica

La Asistencia Social Robótica (en adelante SAR) es aquella que proporciona asistencia a los usuarios humanos a través de la interacción social más que física

[3]. La aplicación de los robots sociales incluye su uso en procesos educativos, como es el caso de enseñanza de lenguaje en diversos idiomas [1], tecnología y computación, ciencias experimentales o educación preescolar [3]. También se han elaborado estudios especializados en educación de niños con síndrome de down, autismo o generales, como es el caso de la solución de problemas [8], entre otras aplicaciones en contextos educativos [4], [2].

Al proporcionar al sistema robótico la capacidad de detectar las expresiones emocionales del estudiante, se promueve el desarrollo de una integración cognitiva que favorece la adaptabilidad del sistema [9]. En este sentido se pueden utilizar datos fisiológicos, provenientes de la interacción con dispositivos como ratón o teclado, información subjetiva proporcionada por el instructor, registros de las expresiones faciales o movimiento corporal por parte del estudiante. Con las fuentes de información mencionadas y su integración, es posible identificar expresiones durante una tarea de aprendizaje que logren un impacto positivo en la efectividad del proceso, dependiendo de la duración de la tarea o su nivel de dificultad [36].

En el contexto presentado en la Figura 1, el robot humanoide actúa como una herramienta para el educador, de tal forma que las tareas que se asignan al estudiante, cuentan con un seguimiento adecuado al plan de trabajo y retroalimentación conforme al desempeño de la actividad (soporte metacognitivo) [10]. De igual forma resalta la necesidad de brindar al alumno soporte emocional según sus expresiones en lenguaje verbal y no verbal, con el propósito de encausar el proceso de aprendizaje y alcanzar el objetivo del proceso educativo.



Este trabajo se enfoca en la propuesta de una arquitectura que permita el reconocimiento de emociones para este contexto educativo, en el marco de una situación general en la que el sistema educativo usaría esta información para tomar acciones adecuadas a los objetivos del proceso de aprendizaje.

Estado mental y estados emocionales

En la introducción fue presentado el concepto *estado mental* como la combinación de estado emocional y la intencionalidad por parte del usuario [6]. Desde la perspectiva de Sistemas Multi Agente (en adelante SMA), este es definido como la información interna de un agente, empleada para tomar acciones en las situaciones presentadas por su entorno [11]. Dichas situaciones pueden ser problemas que requieren solución por parte del agente. A su vez, diferentes agentes pueden asignar diversas prioridades a variables similares en sus estados mentales, lo que conlleva cierto grado de personalidad. El estado mental puede incluir sentidos de valores, intenciones, obligaciones, capacidades, entre otros.

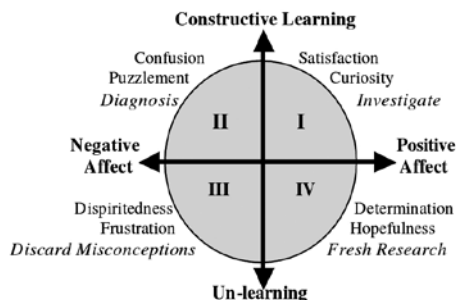
Los seres humanos cuentan con la capacidad de manifestar estados mentales complejos en tanto que expresan simultáneamente emociones como ira, miedo, felicidad, sorpresa, tristeza o desagrado, a las que se suman otros estados neutrales como confusión, sorpresa o concentración [12]. Tales estados mentales involucran actitudes, estados cognitivos e intenciones. Otros autores han propuesto la detección de acciones dinámicas y también los movimientos físicos como la principal fuente de información para reconocer los estados mentales [6].

No existe consenso al momento de definir *estado emocional* [12], algunos autores consideran equivalentes los estados mentales y los estados emocionales; En tanto que el afecto es un mecanismo evolutivo que ocupa un papel fundamental en la interacción humana, se ha agregado el término *estado afectivo* en referencia a emociones, actitudes, creencias, intenciones, deseos, entre otros [6]. Aquellos sistemas, que incluyen información emocional del usuario, han propiciado una nueva área de investigación conocida como *computación afectiva* [13].

Modelos de emociones

Puesto que la clasificación de las emociones humanas puede llevar a un alto nivel de complejidad, se han desarrollado modelos que buscan representar dicha complejidad en un subconjunto de emociones. El psicólogo Robert Thayer desarrolló un modelo, fuertemente relacionado con componentes psicofisiológicos y bioquímicos, en el que las actividades cognitivas personales y los eventos causales juegan un papel crítico [14]. Este modelo está compuesto por cuatro cuadrantes en los que el eje horizontal representa la *valencia positiva o negativa de las emociones*, mientras que el eje vertical representa el *nivel de excitación*, es decir; qué tan emocionado o en calma se encuentra la persona. El modelo incluye un total de doce emociones reconocibles, donde entre más cercano se está al origen de la gráfica, menos intensas son las emociones, contrario a alejarse del origen.

Fig. 2
Modelo que relaciona fases de aprendizaje y emociones



Fuente: tomado de [7].

La Fig. 2 presenta el *modelo de cuatro cuadrantes* propuesto por Kort y Reilly [7], especialmente diseñado para el uso en Interacción Hombre - Máquina (en adelante HCI) y *computación afectiva*. El eje horizontal muestra las emociones positivas a la derecha y las negativas a la izquierda, mientras que el eje vertical simboliza la construcción de conocimiento o el descarte de ideas en la parte inferior. En los cuatro cuadrantes ubicados en la gráfica, se genera un ciclo en el que el estudiante puede iniciar en el primer cuadrante en una situación de inquietud por adquirir nuevo conocimiento, pudiendo pasar a otros cuadrantes en los que se produzca frustración debido al descarte de ideas preconcebidas para luego avanzar a un estado de expectativa por la adquisición de nuevos modelos de conocimiento y el inicio de un nuevo ciclo a partir del primer cuadrante frente a nuevas preguntas y situaciones que promuevan un nuevo ciclo de aprendizaje.

El propósito del desarrollo del modelo es reconocer que el estado emocional del estudiante impacta positiva o negativamente el proceso de aprendizaje, y que la intervención apropiada en el estado afectivo facilitará el aprendizaje, para lo cual es necesario identificar con precisión el estado cognitivo-emotivo del estudiante [7]. Esta es la principal fortaleza de este modelo frente al modelo genérico de Thayer, pues al estar diseñado específicamente para contextos educativos, está en capacidad de reconocer emociones de mayor relevancia al aprendizaje como confusión, frustración, aburrimiento, curiosidad o ansiedad. Por tal motivo, la arquitectura que se presentará más adelante, para el reconocimiento multimodal de emociones, se centra en este tipo de emociones.

Técnicas de reconocimiento

En tanto que se ha mostrado la importancia de las emociones para el proceso educativo, en esta sección se presentan técnicas que permiten su reconoci-

miento. Estas pueden incluir datos de la interacción [15], reconocimiento de lenguaje natural, de la entonación [6], [16], expresión facial, postura corporal [17], [18] o fisiológicos. La información así obtenida es necesaria para brindar retroalimentación al sistema robótico [6], [10].

Audio

La interpretación de la lengua hablada por parte de un computador es un proceso complejo realizado por sistemas de comprensión del lenguaje hablado (en adelante SLU) [19]. Una de las técnicas de modelado discriminativo más utilizadas, es la de campos aleatorios condicionales (CRF por sus siglas en inglés), en esta técnica, a partir de una expresión como “quiero volar de Seattle a Miami mañana en la mañana”, se busca reducir la comprensión a la ubicación de variables específicas como ciudad de destino, ciudad y fecha de partida en una intención específica relacionada con la búsqueda de un vuelo.

El reconocimiento de emociones con esta técnica requiere una tarea de reconocimiento de voz automática (por sus siglas en inglés ASR) para obtener una secuencia o un conjunto de hipótesis de palabras y una tarea de interpretación que transforma dichas *hipótesis de palabras* en *hipótesis de estructura semántica* descritas por un lenguaje de representación de significado (por sus siglas en inglés, MRL) [20]. Basándose en teorías lingüísticas, las estructuras semánticas se obtienen por la composición de las estructuras semánticas que son fragmentos de la ontología aplicada por el sistema SLU.

El reconocimiento de emociones a través de señales de audio, involucra también el uso de la tonalidad de la voz. El rendimiento del tono acústico y de las características lingüísticas es comparable, y una combinación de ambos conjuntos mejora el rendimiento del reconocimiento [21]. Otros modelos incorporan la tonalidad como entrada directa para el reconocimiento emocional, mientras que las técnicas de lenguaje natural se emplean para el reconocimiento de la intencionalidad del usuario [6].

Video

Las técnicas de reconocimiento de emociones basadas en video se pueden clasificar en dos grupos [22]:

- Técnicas basadas en características que detectan y hacen seguimiento a aspectos faciales, tales como las esquinas de la boca o las cejas, y utilizan la información obtenida para llevar a cabo el reconocimiento de emociones.

- Enfoques basados en la región, donde el movimiento facial se mide en ciertas regiones de la cara y luego son explotados para el reconocimiento de emociones. Patrones de movimiento del globo ocular y la variación de tamaño de la pupila pueden considerarse como posibles factores de reconocimiento de intención [5].

El trabajo de Littlewort [23] utiliza video para realizar reconocimiento de emociones a partir de la expresión del rostro y la posición relativa de la cabeza, logrando clasificar cinco emociones en tiempo real: ira, miedo, alegría, alivio y tristeza. En otros trabajos se propone una arquitectura neuronal jerárquica capaz de reconocer las acciones humanas observadas [24]. Cada capa en la arquitectura representa características cada vez más complejas de la actividad humana.

Otra característica que puede ser extraída de dispositivos especiales son los movimientos del cuerpo y la expresión de emociones a partir de lenguaje corporal [17], esta técnica resulta especialmente efectiva cuando el contacto visual con el usuario se realiza a una distancia apropiada, de tal forma que se logre la extracción de emociones a partir del movimiento. Es necesario tener en cuenta variables como las diferencias de género, culturales y las dificultades inherentes a la recolección de los datos de postura en tiempo real y la diferenciación frente al entorno [25]. En estos casos se utiliza un dispositivo especializado como Kinect para el registro del movimiento corporal [9], [26].

Signos vitales

Otros enfoques incorporan medidas electrofisiológicas como electromiografía (en adelante EMG), electroencefalografía (en adelante EEG) o sensores mecánicos colocados sobre una parte del cuerpo [27]. Mediante la medición continua de datos fisiológicos como la frecuencia cardíaca, la tensión muscular, la conductancia de la piel, la frecuencia respiratoria entre otros, los cuales, al combinarse con información de contexto de la actividad realizada, se pueden utilizar para inferir emociones [28].

Debido a que cada aproximación presenta fortalezas para el reconocimiento de ciertos tipos de emociones, a continuación, se presentan soluciones que incorporan diversos tipos de señales en una metodología integrada.

Técnicas de reconocimiento multimodal

Múltiples fuentes de información pueden ser tenidas en cuenta para lograr un modelo del *estado emocional* del usuario. A esta estrategia que integra varias fuentes se le denomina *reconocimiento multimodal* [13], [12], [27]. Algunas

investigaciones en el campo de reconocimiento de emociones multimodal, durante la interacción humano-robot, utilizan dos modos: análisis de voz y de expresión facial, para aplicarlos en un robot social [13], [29], [22]. En otros casos se emplean redes neuronales con estímulos de expresión facial y movimiento corporal para el reconocimiento en escenarios sociales [12], [9], el sistema es capaz de aprender y extraer características espaciales y temporales profundas, y utilizarlas en la clasificación de emociones. Estudios más amplios incluyen señales provenientes de conversación, lenguaje corporal y características faciales [30].

Las implementaciones multimodales son poco comunes [8], debido a la complejidad resultante de la unión de percepciones sensoriales disímiles. La integración de señales se puede efectuar mediante los siguientes métodos [30]:

Fusión de datos

Se efectúa en los datos sin procesar y únicamente es posible cuando las señales tienen la misma resolución en el espacio temporal; es decir, no es aplicable para unir una señal de video con el texto transcrito por un componente de reconocimiento de voz (por sus siglas en inglés ASR).

Fusión de características

Se efectúa sobre características interpretadas a partir de las señales, como es el caso de la media, mediana, desviación estándar, máximos y mínimos, junto con algunas características únicas de cada sensor.

Fusión de decisión

Se realiza uniendo la salida del clasificador de cada señal. Los estados afectivos primero se clasifican por cada sensor y luego se integran para obtener una estimación general a partir del resultado encontrado en los diversos sensores. Este es el enfoque más comúnmente utilizado.

Es recomendable incorporar periodos de tiempo más largos para el reconocimiento de emociones, esto es, considerar información de contexto como la evolución de las emociones en la persona [31]. Al incluir el contexto temporal se tiende a mejorar el rendimiento de la clasificación de la emoción.

Experimentos con usuarios reales muestran una alta tasa de éxito en el reconocimiento automático de la emoción del usuario, al emplear dos canales de información: auditiva y visual [13]. Cuando se utilizan datos de *diálogo*, *postura* y *expresión facial*, tomados de un sistema tutor, se alcanza una exactitud de 78.3 %, mejorando en 17 % el desempeño frente al mejor modelo de reconocimiento basado en un único canal de entrada [8].

En vista que la aproximación multimodal tiene como beneficio un mayor rango de emociones posibles para el reconocimiento, y a que permite contrastar resultados a partir de diversos tipos de señal, la arquitectura para el reconocimiento multimodal de emociones que se presentará más adelante, incorpora esta técnica de reconocimiento integrada.

Software existente

Con el propósito de incluir *software* existente y que pueda ser utilizado en la implementación de la arquitectura, a continuación, se presentan algunos componentes aplicados en trabajos de investigación y sobre los que se demostró su efectividad en el reconocimiento de emociones. Estos componentes podrían ser utilizados en la construcción de una solución integrada para el reconocimiento multimodal de emociones.

- *Gender and Emotion Voice and Facial Analysis* (por sus siglas en inglés GEVA y GEFA) [13]: Desarrollado en la Universidad Carlos III, GEVA analiza señales de audio, utilizando árboles y reglas de decisión, genera como resultado la emoción y género identificados junto con un intervalo de confianza. La implementación de este componente se encuentra integrada con el Sistema Operativo Robótico (en adelante ROS, por sus siglas en inglés) utilizado en el robot Baxter. Baxter es un robot de tipo humanoide con funciones como gravedad cero y múltiples sensores [32], [33], que lo hacen ideal para su uso en interacción con humanos [34], [26].
- *Affdex SDK*: *software* desarrollado por Afectiva, reconoce siete emociones a partir de video del rostro, permite medir también por separado los ejes de valencia y nivel de excitación.
- *Computer Expression Recognition Toolbox (CERT)* [23]: permite la clasificación de cinco emociones en tiempo real: ira, miedo, alegría, alivio y tristeza. Para el reconocimiento facial, utiliza aproximación por puntos de interés y una Support Vector Machine (en adelante SVM) para la clasificación de emociones. Adicionalmente, incluye la posición relativa de la cabeza como factor para la detección de emociones.
- *Synesketch* [35]: *software* de código abierto para el reconocimiento de emociones a partir de texto, escrito en lenguaje Java. Si bien su base de datos se encuentra en idioma inglés, a través de un archivo de texto puede ser migrada a español.

- *Verbio ASR*: *software* de reconocimiento de voz desarrollado en España y que soporta el idioma español. El costo de la licencia es inferior a US\$ 1000. Cuenta con una efectividad entre el 85% y el 91 %.
- *CMU Sphinx*: *software* de reconocimiento de voz con capacidad de identificar el idioma español. Disponible con licencia de código abierto.
- *HARK Open Source Library* [36]: *software* de audición especializado en robots. Con licencia de código abierto desde 2008 y utilizado en robots como el Honda ASIMO, SIG2 y Robovie R2. Implementa capacidades de reconocimiento de voz (ASR) con un gran nivel de compatibilidad.
- *OpenCV* [37]: Librería de código abierto en C++ con interfaces para Java, que incluye múltiples algoritmos para visión. Está diseñada para la captura de imágenes en tiempo real, el procesamiento y el reconocimiento de color. Ha sido utilizado para el reconocimiento de objetos en un espacio de interacción HCI.

Con el propósito de determinar cuáles componentes de *software* son adecuados a los diversos tipos de modalidades de reconocimiento, en la siguiente fase de la investigación, estas herramientas son evaluadas e integradas a la arquitectura propuesta en razón a su utilidad y desempeño.

Arquitectura

A partir de los conceptos explorados en las secciones anteriores, en relación con estados mentales, modelos de emociones e investigaciones efectuadas respecto al reconocimiento de emociones, en particular con técnicas y dificultades relativas al reconocimiento multimodal, se presenta la arquitectura propuesta que incluye estos conceptos para lograr una solución integrada. La definición de la arquitectura está guiada por los criterios a continuación:

- *Respuesta en línea*: con el propósito de obtener una retroalimentación efectiva para el proceso educativo, es necesario que la arquitectura de reconocimiento proporcione información permanente sobre el estado emocional del niño durante la ejecución de las tareas.
- *Evitar elementos invasivos* que incomoden al niño o limiten sus movimientos.
- *Aplicabilidad en el contexto escolar*: teniendo en cuenta limitaciones de espacio físico y costo limitado en los elementos *hardware* y *software* requeridos para la implementación.

- *Multimodal*: como se ha mostrado en las secciones anteriores, el reconocimiento emocional involucra múltiples dimensiones. Se deben tener en cuenta respuestas simultáneas e incluso contradictorias en las modalidades.

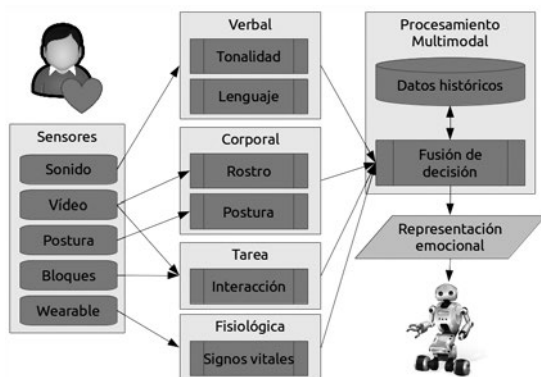
La arquitectura propuesta incluye cuatro modalidades o dimensiones para el reconocimiento multimodal de emociones:

- *Verbal*: está compuesta por la tonalidad de la voz del niño y el lenguaje que utiliza al expresar su situación frente al problema que se le presenta.
- *Corporal*: incluye el lenguaje no verbal que se puede captar a partir de las expresiones del niño. En esta modalidad se incluyen los gestos específicos del rostro y expresiones de postura corporal.
- *Tarea*: se refiere a la forma en que el niño interactúa con el entorno en el marco del proceso educativo. Si el problema que se le está presentando incluye un conjunto de bloques a desplazar, esta modalidad contiene información sobre la forma en que el niño toma estos elementos, los mueve o juega con ellos mientras resuelve el problema.
- *Fisiológica*: incluye signos vitales que pudieran medirse durante el proceso educativo. Es posible utilizar dispositivos modernos (*wearables*) como manillas para medir el ritmo cardíaco u otros signos que pudieran resultar relevantes.

La Fig. 3 presenta la arquitectura propuesta teniendo en cuenta los criterios antes mencionados. Inicialmente, existe un conjunto de sensores necesarios para el procesamiento de las modalidades verbal, corporal, de tarea y fisiológica. Estos sensores transfieren información a los agentes representados por un rectángulo con líneas verticales en cada lado. Estos agentes están especializados por responsabilidades de acuerdo a las modalidades identificadas y contienen la inteligencia necesaria para reconocer emociones a partir de los sensores de su modalidad. El agente de *Fusión de decisión* implementa la técnica de cooperación de tal forma que se coordinen las salidas de los agentes especializados y se resuelvan los conflictos producto de las habilidades especiales de cada modalidad en la detección de emociones.

La modalidad *verbal* -específicamente- requiere un sensor de sonido, con esta información es posible utilizar componentes existentes para el reconocimiento de emociones a partir de la tonalidad de la voz. Mediante la información de los mismos sensores de sonido y en forma paralela, se utilizan técnicas de SLU para el reconocimiento a partir del lenguaje utilizado por el estudiante durante la ejecución de las actividades.

Fig. 3
Arquitectura de reconocimiento multimodal



La modalidad *corporal* utiliza sensores de video con el propósito de lograr un reconocimiento a partir del rostro del estudiante, por este motivo, es recomendable que existan sensores que puedan hacer seguimiento a la ubicación del niño en el entorno. Para solucionar este inconveniente, se puede utilizar más de una cámara, de tal forma que el sistema logre obtener los datos faciales con la mayor continuidad posible. En caso contrario, el sistema es robusto, por lo que se puede apoyar en otros sensores para el reconocimiento. En relación con la postura es posible utilizar un sensor de tipo Kinect que transmita a intervalos regulares la posición relativa de la cabeza y extremidades del niño.

La modalidad de *tarea* es la única que requiere sensores especiales dependientes de la actividad que se está realizando. Si el problema involucra bloques para su ejecución, dichos bloques podrían contener sensores de movimiento que transmitan información de velocidad, aceleración o posición relativa respecto a los demás bloques y elementos, de tal forma que el sistema educativo pueda determinar que la tarea se está adelantando en forma exitosa o que existe necesidad de intervención. En el contexto del reconocimiento de emociones, esta misma información puede ser utilizada para reflejar comportamientos relacionados con la confianza, comodidad o ansiedad con las que el niño está afrontando el problema. En la medida en que no se cuente con sensores especiales en los elementos, la información de los sensores de video podría ser utilizada para hacer el seguimiento necesario a la actividad.

La modalidad *fisiológica* utiliza sensores específicos que proporcionan datos de signos vitales como pulso o tensión [28], es posible utilizar dispositivos de tipo wearable que permitan al sensor realizar las medidas sin incomodar al niño en la ejecución de la tarea o afectar su concentración.

Cada una de las modalidades se procesa mediante componentes especializados para el reconocimiento de emociones a partir de información específica como es el caso de la tonalidad de la voz o la expresión facial. Las salidas de estos componentes son transmitidas en línea a otro agente especializado en realizar el procesamiento multimodal a partir de la fusión de las salidas de los componentes previos. Este agente incluye un mecanismo de memoria de tal forma que la decisión sobre el estado emocional del niño, incluya información del contexto e información histórica como sería el caso de los últimos minutos de ejecución de la actividad.

El resultado del reconocimiento multimodal es la representación emocional del niño en la que, para cada una de las emociones objetivo, produce una salida a escala con la fortaleza de la emoción detectada. Esta información es clave para que sea utilizada por el sistema educativo en el soporte metacognitivo, relacionado con el tema de estudio, y soporte emocional, relacionado con el estado emocional del niño. De esta forma, el sistema educativo contará con información relevante para tomar las acciones necesarias que logren el objetivo final del sistema, esto es, el aprendizaje y la transferencia de conocimiento para el niño [10].

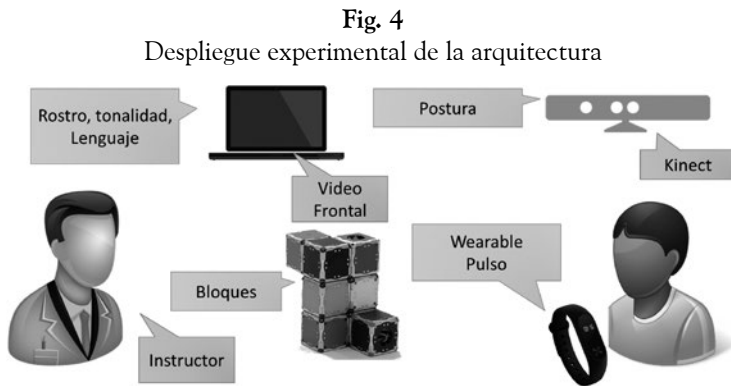
La arquitectura utiliza una metodología de SMA debido a que integra un conjunto de componentes especializados concurrentes y cooperativos [38]. Los componentes de las diversas modalidades son dinámicos y pueden incorporar *software* existente o el desarrollo de otros agentes específicos como es el caso de la modalidad de tarea. Incluso admite la posibilidad de incorporar nuevas modalidades en el futuro, en caso que fueran identificadas.

En la siguiente fase de la investigación, se procederá a diseñar la inteligencia de los agentes que lo requieran. En efecto, los agentes pueden en sí mismos implementarse usando componentes existentes o mediante algoritmos de clasificación de fuentes heterogéneas como Deep Learning, redes neuronales o SVM (Support Vector Machines), en especial para el agente de fusión de decisión propuesto. La arquitectura SMA no impone restricciones a la racionalidad de los agentes, por cuanto es totalmente compatible con el uso de diversas herramientas de Inteligencia Artificial.

Como resultado de un proceso de selección, mediante la aplicación de los criterios presentados al inicio de esta sección, se escogieron los siguientes componentes para implementar la arquitectura y medir su desempeño en situaciones reales que permitan compararla con otras propuestas existentes: para el agente de modalidad de rostro se utilizará Affdex SDK, para el agente de modalidad de tonalidad se utilizará CMU Sphinx, para el agente de modalidad de lenguaje,

se utilizará Synesketch. El agente de fusión de decisión será implementado con un algoritmo especial de coordinación que tenga en cuenta el desempeño de cada agente en la detección de cada emoción, de esta forma, la respuesta final sopesará las habilidades de los agentes que lograron identificar emociones a partir de las señales específicas que recibieron.

La Fig. 4 presenta un ejemplo de despliegue experimental con los sensores para la arquitectura propuesta. Las modalidades *verbal* y *corporal* pueden obtener sus datos a partir de una cámara de video ubicada de tal forma que se logre enfocar la expresión del niño. Los datos de postura se obtienen mediante un sensor Kinect. La modalidad fisiológica se obtiene mediante un *wearable* ubicado en la muñeca del niño, de tal forma que se registren datos del pulso. Finalmente, la modalidad de tarea se obtiene mediante sensores de movimiento ubicados en los bloques especialmente diseñados para hacer seguimiento a la ejecución del problema educativo.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se propone una arquitectura para el reconocimiento multimodal de emociones de un niño relevantes al proceso de aprendizaje en un contexto educativo. En el desarrollo de la investigación, se exploraron conceptos de educación y robótica, estados mentales, modelos de emociones e investigaciones efectuadas en relación con el reconocimiento de emociones, en particular con técnicas y dificultades relativas al reconocimiento multimodal. Se presenta el modelo de emociones general del psicólogo Robert Thayer y se contrasta su formulación con el modelo de Kort y Reilly, específico para procesos de aprendizaje.

Al aplicar técnicas de reconocimiento multimodal se logran resultados superiores frente a aquellos que consideran canales únicos para el proceso de reconocimien-

to. De igual forma, el uso de información de contexto e intervalos de tiempo amplios logra mejorar el resultado. Otra consideración a tener en cuenta es el hecho de que existe un *software* que puede ser utilizado para la construcción de una solución integrada de reconocimiento multimodal de emociones, sin embargo, las opciones de código libre son limitadas y no todos los estudios permiten el acceso al código implementado.

El avance en el desarrollo de las técnicas de reconocimiento de emociones contribuirá al desarrollo de la robótica educativa, y cuenta con el potencial de ser aplicado en otros contextos HCI como los robots asistentes, cuidado de personas y situaciones en que la valoración del estado emocional de la persona contribuya a una mejor experiencia y beneficio para el usuario. Una oportunidad de investigación que surge a partir del trabajo en el reconocimiento de emociones es el desarrollo de técnicas de decisión que, a partir del resultado del módulo de reconocimiento, logren dirigir las acciones del sistema robótico de tal forma que se brinde un soporte metacognitivo y emocional en concordancia con el contexto del usuario.

Al aplicar soluciones de reconocimiento de emociones, el proceso educativo en las instituciones de enseñanza, puede verse transformado al incorporar variables relacionadas con el estado emocional de los estudiantes. Finalmente, la experiencia del usuario en relación con las herramientas tecnológicas será potenciada al incorporar retroalimentación basada en el estado emocional del usuario. En particular, este trabajo se desarrolla en el campo de la robótica, sin embargo, puede ser extendido a la interacción general hombre máquina (HCI).

Referencias

- [1] Alemi, Minoo; Meghdari, Ali y Ghazisaedy, Maryam, “Employing Humanoid Robots for Teaching English Language in Iranian Junior High-Schools”. *International journal of humanoid robotics*, vol. X, 2014.
- [2] Hahn, Stefan; Dinarelli, Marco; Raymond, Christian; Lefevre, Fabrice; Lehn, Patrick; De Mori, Renato; Moschitti, Alessandro; Ney, Hermann y Riccardi, Giuseppe: “Comparing Stochastic Approaches to Spoken Language Understanding in Multiple Languages”. *Ieee transactions on audio speech and language processing*, 2011, 19(6), pp. 1569–1583.
- [3] McColl, Derek; Hong, Alexander; Hatakeyama, Naoaki; Nejat, Goldie y Benhabib, Beno, “A Survey of Autonomous Human Affect Detection Methods for Social Robots Engaged in Natural HRI”, *Journal of intelligent & robotic systems*, vol. X, no. X, pp. 101 – 133. 2016.

- [4] Collobert, Ronan; Weston, Jason; Bottou, Leon; Karlen, Michael; Kavukcuoglu, Koray y Kuksa, Pavel, "Natural Language Processing (Almost) from Scratch", *Journal of machine learning research*, vol. 12, pp. 2493 – 2537. 2011.
- [5] Dobrisek, Simon; Gajsek, Rok; Mihelic, France; Pavesic, Nikola y Struc, Vitomir, "Towards Efficient Multi-Modal Emotion Recognition", *International journal of advanced robotic systems*, vol. 10, p. 10. 2013.
- [6] Kort, Barry y Reilly, Rob, "Analytical models of emotions, learning and relationships: towards an affect-sensitive cognitive machine". En: *Conference on virtual worlds and simulation*, San Diego, USA, (VWSim 2002), 2002.
- [7] Karg, Michelle; Samadani, Ali-Akbar; Gorbet, Rob; Kuehnlenz, Kolja; Hoey, Jesse y Kulic, Dana, "Body Movements for Affective Expression: A Survey of Automatic Recognition and Generation", *Ieee transactions on affective computing*, 2013, 4(4), pp. 341–U157.
- [8] Saneiro, Mar; Santos, Olga C.; Salmeron-Majadas, Sergio y Boticario, Jesus G., "Towards Emotion Detection in Educational Scenarios from Facial Expressions and Body Movements through Multimodal Approaches". *Scientific world journal*, vol. 2014, 2014.
- [9] Nakadai, Kazuhiro; Takahashi, Toru; Okuno, Hiroshi G.; Nakajima, Hirofumi; Hasegawa, Yuji y Tsujino, Hiroshi, "Design and Implementation of Robot Audition System 'HARK' - Open Source Software for Listening to Three Simultaneous Speakers" *Advanced robotics*, vol. 24, pp. 739–761. 2010.
- [10] Romano, Joseph M.; Brindza, Jordan P. y Kuchenbecker, Katherine J., "ROS open-source audio recognizer: ROAR environmental sound detection tools for robot programming". *AUTONOMOUS ROBOTS*, 2013, 34(3), pp. 207–215.
- [11] Buonamente, Miriam; Dindo, Haris y Johnsson, Magnus: "Hierarchies of Self-Organizing Maps for action recognition". *Cognitive systems research*, 2016, 39, pp. 33–41.
- [12] Fridin, Marina y Belokopytov, Mark: "Acceptance of socially assistive humanoid robot by preschool and elementary school teachers" *Computers in human behavior*, vol. 33, pp. 23–31, 2016.
- [13] Hong, Zeng-Wei; Huang, Yueh-Min; Hsu, Marie y Shen, Wei-Wei, "Authoring Robot-Assisted Instructional Materials for Improving Learning Per-

- formance and Motivation in EFL Classrooms". *Educational technology & society*, vol. X, no. 19(1), pp. 337–349, 2016.
- [14] Krcadinac, Uros; Pasquier, Philippe; Jovanovic, Jelena y Devedzic, Vladan, "Synesketch: An Open Source Library for Sentence-Based Emotion Recognition" *Ieee transactions on affective computing*, 2013, 4(3), pp. 312–325.
- [15] Esposito, Anna; Esposito, Antonietta M. y Vogel, Carl, "Needs and challenges in human computer interaction for processing social emotional information". *Pattern recognition letters*, vol. 66, pp. 41 – 51. 2015.
- [16] Katoh, Takashi; Hara, Hideki; Kinoshita, Tetsuo; Sugawara, Kenji y Shiraori, Norio: "Behavior of agents based on mental states". En: *Information Networking*, 1998. (ICOIN-12) Proceedings. Twelfth International Conference on, pp. 199–204. IEEE, 1998.
- [17] Prado, Jose Augusto; Simplicio, Carlos; Lori, Nicolas F. y Dias, Jorge, "Visuo-auditory Multimodal Emotional Structure to Improve Human-Robot Interaction", *International journal of social robotics*, vol. 4, pp. 29–51. 2012.
- [18] Gonzalez, Enrique y Torres, Miguel: "Organizational approach for agent oriented programming". En: *8th Int. Conf. on Enterprise Information Systems-ICEIS*, pp. 75–80, 2006.
- [19] Dai, Fengzhi; Li, Yuan y You, Guodong: "Development of an Intelligent Assistant Robot based on Embedded RTOS", *Journal of robotics networking and artificial life*, vol. 2, pp. 200–204. 2015.
- [20] Sarikaya, Ruhi; Hinton, Geoffrey E. y Deoras, Anoop, "Application of Deep Belief Networks for Natural Language Understanding". *Ieee-acm transactions on audio speech and language processing*, 2014, 22(4), pp. 778–784.
- [21] Feidakis, Michalis; Daradoumis, Thanasis y Caballe', Santi, "Emotion measurement in intelligent tutoring systems: what, when and how to measure". En: *Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS)*, 2011 Third International Conference on, pp. 807–812. IEEE, 2011.
- [22] Salmeron, Jose L., "Fuzzy cognitive maps for artificial emotions forecasting". *Applied soft computing*, vol. 12, pp. 3704 – 3710. 2012.
- [23] Castillo, José Carlos; Castro-González, Álvaro; Fernández- Caballero, Antonio; Latorre, José Miguel; Pastor, José Manuel; Fernández-Sotos, Alicia y Salichs, Miguel A., "Software Architecture for Smart Emotion

- Recognition and Regulation of the Ageing Adult". *Cognitive Computation*, vol. 8, pp. 357–367. 2016.
- [24] Jang, Young-Min; Mallipeddi, Rammohan; Lee, Sangil; Kwak, Ho-Wan y Lee, Minho, "Human intention recognition based on eyeball movement pattern and pupil size variation". *Neurocomputing*, vol. X, no. 128, pp. 421–432, 2014.
- [25] Littlewort, G.; Whitehill, J.; Wu, T. F.; Butko, N.; Ruvolo, P.; Movellan, J. y Bartlett, M.: "The motion in emotion - A CERT based approach to the FERA emotion challenge". En: *Automatic Face Gesture Recognition and Workshops (FG 2011)*, 2011 IEEE International Conference on, pp. 897–902, 2011.
- [26] Novak, Domen y Riener, Robert, "A survey of sensor fusion methods in wearable robotics". *Robotics and autonomous systems*, vol. 73, pp. 155–170. 2015.
- [27] Calvo, Rafael A. y D'Mello, Sidney, "Affect Detection: An Interdisciplinary Review of Models, Methods, and Their Applications". *Ieee transactions on affective computing*, vol. 1, pp. 18–37. 2010.
- [28] Paez, John Jairo y Gonzalez, Enrique: "Human-Robot Scaffolding, a cognitive architecture to foster the metacognitive and emotional support using a Baxter robot" Ph.D ponencia. Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, 2017.
- [29] Calinon, Sylvain, "A tutorial on task-parameterized movement learning and retrieval". *Intelligent service robotics*, vol. 9, pp. 1–29. 2016.
- [30] Alonso-Martin, Fernando; Malfaz, Maria; Sequeira, Joao; Gorostiza, Javier F y Salichs, Miguel A., "A Multimodal Emotion Detection System during Human-Robot Interaction". *Sensors*, vol. 13, pp. 15549–15581. 2013.
- [31] D'Mello, Sidney K. y Graesser, Arthur, "Multimodal semi-automated affect detection from conversational cues, gross body language, and facial features". *User modeling and user-adapted interaction*, vol. 20, pp. 147–187. 2010.
- [32] Callejas, Zoraida; Griol, David y Lopez-Cozar, Ramon, "Predicting user mental states in spoken dialogue systems". *Eurasip journal on advances in signal processing*, vol. 2011, 2011.
- [33] Jain, Ashesh; Sharma, Shikhar; Joachims, Thorsten y Saxena, Ashutosh, "Learning preferences for manipulation tasks from online coactive feedback". *International journal of robotics research*, vol. 34, pp. 1296–1313. 2015.

- [34] Batliner, Anton; Steidl, Stefan; Schuller, Bjoern; Seppi, Dino; Vogt, Thuriid; Wagner, Johannes; Devillers, Laurence; Vidrascu, Laurence; Aharonson, Vered; Kessous, Loic y Amir, Noam, "Whodunnit - Searching for the most important feature types signalling emotion-related user states in speech". *COMPUTER SPEECH AND LANGUAGE*, 2011, 25(1, SI), pp. 4–28.
- [35] Liang, Peidong; Ge, Lianzheng; Liu, Yihuan; Zhao, Lijun; Li, Ruifeng y Wang, Ke, "An Augmented Discrete-Time Approach for Human-Robot Collaboration", *Discrete dynamics in nature and society*, vol. 2016. 2016.
- [36] Metallinou, Angeliki; Woellmer, Martin; Katsamanis, Athanasios; Eyben, Florian; Schuller, Bjoern y Narayanan, Shrikanth, "Context-Sensitive Learning for Enhanced Audiovisual Emotion Classification". *Ieee transactions on affective computing*, vol. 3, pp. 184–198. 2012.
- [37] Barros, Pablo; Jirak, Doreen; Weber, Cornelius y Wermter, Stefan, "Multimodal emotional state recognition using sequence-dependent deep hierarchical features". *Neural networks*, vol. X, no. 72, pp. 140–151. 2015.
- [38] Schacter, David; Wang, Christopher; Nejat, Goldie y Benhabib, Beno, "A two-dimensional facial-affect estimation system for human robot interaction using facial expression parameters". *Advanced robotics*, vol. 27, pp. 259–273. 2013.

(SUBMISSION 111)

Traje inteligente para la orientación espacial para niños con discapacidad visual

DAVID ZAPATA

CRISTIAN JEAN PAUL DURANGO

VICTOR PENEÑORY

*Facultad de Ingenieria**Universidad de San Buenaventura**Cali*

Resumen

Cuando se habla de personas con discapacidad visual, se pueden analizar varios problemas que afectan su carácter y estado, entre ellos, la inseguridad al desplazarse uno de los más importantes; esto se debe a que la visión permite la construcción y conocimiento del entorno de una manera eficaz [1]. Al tratar este tema en los niños es más complicado debido a que su conocimiento del mundo es más limitado y por ende su inseguridad aumenta. A razón de lo anterior, se estudió y desarrolló un dispositivo que fomenta la exploración y brinda seguridad en la etapa temprana del niño con discapacidad visual mediante el uso de las metodologías de hardware libre [2] y la metodología de diseño centrado en el usuario [3]. Para ello se trabajó con terapeutas físicas y visuales junto a un grupo de cinco estudiantes entre 8 y 10 años del Instituto para Niños Ciegos y Sordos (Cali - Valle del Cauca, Colombia), con el fin de crear de forma conjunta, un dispositivo que cumple la función de ecolocalizador al detectar objetos y dar avisos cuando estos están muy cerca, mediante audios y vibraciones que el niño puede interpretar, de ese modo podrá evadir el objeto o buscarlo si es el caso.

Palabras clave: orientación espacial, motricidad gruesa, interacción humano computadora, diseño centrado en el usuario, accesibilidad, discapacidad visual, rehabilitación.

Introducción

El sentido de la visión fomenta el desarrollo de la autonomía de las personas, ya que brinda seguridad al momento de desplazarse y permite reconocer el entorno que lo rodea. En el caso de los niños, la exploración y contacto con su entorno es la pieza fundamental en su aprendizaje [4].

Cuando se trata de niños con discapacidad visual, es normal que necesiten de un apoyo para que exploren su entorno, debido a que para ellos un lugar desconocido es un espacio desconcertante e impredecible. Por ello necesitan de una ayuda para motivarlos a la exploración de forma segura, permitiéndoles mayor autonomía al momento de moverse y llegar hasta su objetivo [4].

En la actualidad existen gran cantidad de dispositivos y tecnologías (como el Tacit [5], el ISonic [6] o el Chaleco inteligente de la Universidad Politécnica de Hebrón [7]) cuyo fin es ayudar a las personas ciegas a adquirir la autonomía necesaria para moverse [4], haciendo uso de herramientas como sensores de distancia y vibraciones. Pero la mayoría de estas son desarrolladas para una población adulta la cual ya tiene experiencia de cómo convivir con su discapacidad.

Instituciones como el Instituto para Niños Ciegos y Sordos buscan ayudas que mejoren la educación de los niños con discapacidad visual, siendo favorecidas debido a su facilidad en la adquisición de tecnologías de bajo costo, porque pueden ser utilizadas en terapias, rehabilitaciones y estudios de lectura de forma masiva.

Por este motivo, a través de la tecnología Arduino se optó por crear un dispositivo que incluya sensores de ultrasonido para la detección de objetos cercanos al niño, a los cuales les fueron implementados audios personalizados y motores vibradores que ayudan con la retroalimentación del dispositivo al brindarles seguridad en el momento de explorar y desplazarse en su entorno, de esta forma se estimula el desarrollo de sus habilidades fundamentales de motricidad gruesa como el equilibrio, el balance y la coordinación.

A continuación, se describe cómo fue el proceso del diseño e implementación de un traje inteligente para niños con discapacidad visual. En la Sección 2 se expone la problemática de la discapacidad visual, la cual motivó a realizar esta propuesta. En la Sección 3 se conocen aquellos trabajos relacionados al proyecto.

En la Sección 4 se habla sobre las metodologías usadas para el desarrollo de la capa. En la Sección 5 se describe el proceso de desarrollo, posteriormente en la Sesión 6 se describen las conclusiones obtenidas y se finaliza con trabajos futuros en la Sección 7.

Problemática de la discapacidad visual

La capacidad de movilizarse de manera independiente, no solo implica la posibilidad de trasladarse de un punto a otro, sino que, en una visión más global, también supone el hecho de saber dónde nos encontramos, dónde pretendemos ir y cómo podemos llegar a nuestro destino. Al igual que las personas con visión, las personas con discapacidad visual que tienen habilidades de desplazamiento autónomo, deben ser capaces de desplazarse desde su ubicación a su destino de forma segura, confortable y eficaz [2], [3]. Si no existen otras limitaciones fisiológicas que dificulten o imposibiliten el desplazamiento, las personas ciegas o de baja visión, pueden apoyarse en información espacial previamente almacenada como un auxiliar efectivo de movilidad [8]. Para algunos niños con discapacidad visual, es difícil explorar el entorno para almacenar la información espacial, debido a que presentan un sentimiento de inseguridad ya que su criterio es sobre un mundo exterior temible y amenazante. Tales miedos no tardan en reprimir al niño y evitar que éste satisfaga ese deseo de investigación, exploración y descubrimiento; deseos que normalmente alientan la recopilación de información espacial de su entorno y les permiten almacenar la información necesaria para desplazarse correctamente [1].

Actualmente, las soluciones que le ofrecen a los niños con discapacidad visual son clases de orientación espacial en las instituciones educativas, las cuales desarrollan habilidades como *concienciación de los sentidos, habilidades de búsqueda, movimiento independiente y técnicas de protección propia*; capacitándolos para desplazarse autónomamente [4]. Paralelamente, se desarrollan tecnologías dirigidas a adultos, que les permiten explorar su entorno con mayor seguridad; entre estas tecnologías se encuentra el Independence Day [9], que por medio de una tiara le brinda información al usuario sobre restaurantes, semáforos, y otros sitios de interés que se encuentran a su alrededor. Otra tecnología que ayuda a personas con discapacidad visual, es el Chaleco inteligente de la Universidad Politécnica de Hebrón [7], el cual permite al usuario detectar objetos que se encuentren frente a él, por medio de alertas.

Tecnologías como estas se enfocan en la inclusión de las personas ciegas en la sociedad, pero no buscan ser un apoyo en la educación de personas ciegas en su niñez.

Proyectos relacionados

Las tecnologías actuales para usuarios con discapacidad visual tienen como objetivo el poder brindar un mejoramiento en su diario vivir, abarcando temas como su movilidad y orientación espacial.

Fig. 1
Bastón inteligente “iSonic” [6]



El iSonic [6] (Fig. 1) es un bastón elaborado por la compañía Primpo, para ayudar a las personas con discapacidad visual a superar diferentes obstáculos mediante el uso vibraciones, para identificar objetos al desplazarse, que además le proporciona un detector de hasta diez colores, a través de mensajes de voz.

Fig. 2
Guante detector de obstáculos “Tacit” [5]



El Guante con sensor ultrasónico Tacit [5] (Fig. 2), es un guante que funciona mediante un sistema de presión, posee cuatro sensores de proximidad que, mediante ultrasonidos, permite detectar distancia en la que se encuentran los obstáculos, presionando la mano del usuario, dependiendo del rango en que se encuentre el objeto, y de esta forma indicarle la posición y distancia en la que está el objeto a colisionar.

Figura 3
Chaleco inteligente de la UPH [7]



Chaleco inteligente de la Universidad Politécnica de Hebrón - Palestina [7] (Figura 3), mediante el uso de la vibración y comandos de voz, el chaleco informa a su usuario sobre la mejor manera de seguir adelante, pudiendo indicar si se encuentran a su izquierda, derecha o frente de él, de una forma mucha más clara y concisa.

Información de los niños participantes del proyecto

El grupo seleccionado está compuesto por tres niñas y dos niños, de 8 y 9 años, de quienes relacionamos su condición y sus características:

- Jorge Arboleda (8 años): Retinopatía del prematuro (ceguera total), trastorno del espectro autista
- Juliana Ceballos (9 años): Glaucoma congénito bilateral (ceguera total), problemas auditivos
- Pamela Gallego (8 años): Retinopatía del prematuro (baja visión no funcional)
- Simón Aguilar (8 años): Retinopatía del prematuro (ceguera total).
- Valeria Posso (9 años): Retinopatía del prematuro (ceguera total), parálisis corporal hemisferio izquierdo.

(Los nombres de los participantes fueron cambiados para mantener su privacidad).

Metodologías para el diseño e implementación del traje inteligente

Para el desarrollo del proyecto fueron utilizadas dos metodologías, la metodología de desarrollo de Hardware Libre (en adelante HL) y la metodología de diseño centrado en el usuario, las cuales se complementaron entre sí para llevar a cabo el desarrollo del proyecto.

Metodología de *hardware* Libre [2]

La metodología de HL forma parte de la plataforma de la Fundación Cenditel, se concibió con la finalidad de adaptar los planteamientos pertinentes a los procesos de desarrollo de HL [2], la metodología se compone de tres etapas principales.

- *Conceptualización del proyecto*: En la etapa de conceptualización se analizan los problemas y necesidades de las comunidades que pudiesen requerir de una solución en el área de *hardware*.

- *Administración de proyectos de hardware libre*: En la etapa de administración de proyectos de HL se realizan una serie de actividades para que el proyecto sea realice de forma organizada [2].
- *Desarrollo de proyectos de HL*: En la etapa de desarrollo del proyecto se realizan todos los pasos pertinentes a la realización del *hardware*. [2]

Metodología de diseño centrado en el usuario [3]

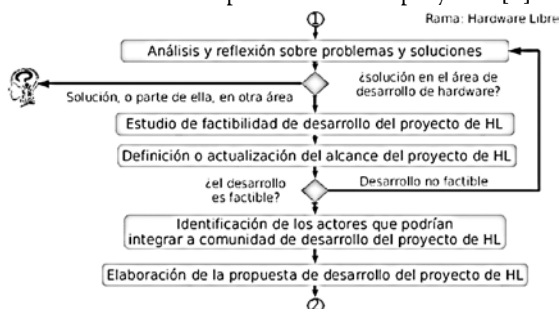
El Diseño Centrado en el Usuario (en adelante DCU), se define como una filosofía de diseño que encamina sus procesos basándose en la información recolectada de las personas que van a hacer uso del producto. El desarrollo se divide en seis etapas iterativas conformadas por: *análisis de requisitos*, *diseño*, *prototipado* y *evaluación del hardware*, implementación y lanzamiento las cuales se describen a continuación [3]:

- *Análisis de requisitos*: Es necesario una investigación previa del comportamiento del usuario en su entorno de trabajo para posteriormente definir los objetivos que debe cumplir la aplicación para abarcar con los requerimientos de usabilidad y accesibilidad que se plantearon inicialmente [3]. Esta etapa de la metodología no es iterativa y se aplica durante el inicio del proyecto para obtener la información necesaria para poder plantear los objetivos de usabilidad y accesibilidad del *traje inteligente*.
- *Diseño*: Durante esta etapa se realiza el diseño del prototipado del dispositivo, cumpliendo con los objetivos planteados tras el análisis de requisitos [3]. Esta es una etapa iterativa donde se diseñaron los posibles modelos del traje inteligente, el cual se fue mejorando con el propósito de corregir errores y llegar a un diseño usable y accesible para el usuario final.
- *Prototipado*. Durante esta etapa se realizan prototipos que son evaluados y analizados para corregir posibles errores de diseño antes de la implementación [3]. Esta es una etapa iterativa donde se realizan los prototipos del traje inteligente y se corrigen los cambios según el análisis de los resultados de las pruebas realizadas a un prototipo de una iteración anterior.
- *Evaluación*. En esta etapa se ponen a prueba los prototipos o diseños frente a los usuarios por medio de metodologías y técnicas de DCU, esto con el fin de detectar errores de diseño que afecten la usabilidad, accesibilidad y experiencia del usuario para corregirlos [3]. Esta es una etapa repetitiva durante la cual se realizan las pruebas de usuario a cada uno de los prototipos del traje inteligente para realizar posibles correcciones.

- *Implementación.* En esta etapa se recolecta toda la información de los procesos anteriores y se construye el dispositivo o aplicación final; la que posteriormente se pone a prueba y es evaluada para concluir si éste prototipo cumple con todos los objetivos del proyecto planteados [3]. Durante esta etapa se realizó el prototipo final del traje inteligente, la cual fue evaluada con una última prueba de usuario y un cuestionario de satisfacción al usuario.
- *Lanzamiento.* Una vez que se han cumplido cada uno de los objetivos del proyecto se procede a lanzar el producto final y realizar las últimas evaluaciones [3]. A partir de los resultados de la última evaluación del traje inteligente se evalúa si este cumple o no con los requisitos para su lanzamiento al público.

Diseño e implementación del traje inteligente para niños con discapacidad visual

Fig. 4
Procesos de conceptualización del proyecto [2]



Según la metodología de desarrollo de HL (Fig. 4), el primer proceso es la conceptualización del proyecto, durante esta etapa debe analizarse el problema y sus posibles soluciones. Si el problema se puede solucionar por medio de *hardware*, se realiza un estudio de factibilidad y se define el alcance del proyecto. Si el proyecto es factible se procede a identificar los integrantes del equipo del proyecto y se procede a elaborar la propuesta del desarrollo considerando tanto los beneficios como el impacto que la solución pueda causar sobre la comunidad [2].

Análisis y reflexión sobre problemas y soluciones

La discapacidad visual en la comunidad infantil afecta de manera integral en su desarrollo personal, social y especialmente en el desarrollo de la motricidad gruesa. La falta del sentido de la vista genera inseguridad en el niño, cohibiéndolos al momento de desplazarse, por consiguiente, se presenta una notable reducción en el desarrollo de su motricidad gruesa. A partir de la monografía del Prof. Rosalén, se enlistan a continuación los problemas que presenta la

comunidad infantil a causa de la discapacidad visual enfatizando en aquellos que hacen parte del desarrollo motriz [1]:

Desarrollo muscular

- Desarrollo muscular insuficiente debido a la falta de actividades físicas.
- Falta de movilidad corporal, al no poder desplazarse con la suficiente desenvoltura y seguridad.
- El instinto de conservación ocasiona que se suavicen los movimientos amplios desde pequeños.
- Todo este cuadro se acentúa aún más cuando hay sobreprotección familiar.

Cabeza y tronco

- Espalda curvada.
- Cabeza inclinada hacia delante.
- Hombros caídos y metidos hacia el pecho.
- Mal formaciones de la columna vertebral (sifosis).
- Falta de alineación entre los planos de la cabeza y del tronco (caminan con la cabeza inclinada hacia delante y girada sobre su eje, quedando de este modo la oreja que llevan por delante más baja que la posterior).

Marcha

- Los brazos no se mueven coordinadamente.
- Los brazos son llevados con frecuencia a la altura del estómago (postura que se adopta por autoprotección instintiva).
- Pérdida del equilibrio al caminar, por falta del balanceo complementario al de la pierna.
- La longitud del paso de cada pierna es diferente por falta del hábito de la marcha.
- Hay niños ciegos inseguros que antes de avanzar un paso, tantean con el pie sobre el suelo, por si acaso hubiera sobre él algún obstáculo, llevando seguidamente el otro pie a la altura del primero.
- Se puede encontrar personas ciegas con tics de balanceos de tronco.

Las problemáticas en la motricidad gruesa en niños ciegos son de carácter crítico, ya que es de gran importancia para la exploración y el reconocimiento del mundo que rodea al individuo, por este motivo las instituciones estimulan

el crecimiento de sus otros sentidos (olfato, audición, gusto y tacto) para que asistan a los niños a llegar adentrarse de manera segura en entornos desconocidos y poder ser capaces de guardar y procesar la información de su entorno [10].

Elaboración de la propuesta de desarrollo del proyecto HL

El dispositivo posee un sensor de proximidad por ultrasonido (HC-SR04), el cual es capaz de detectar un objeto hasta un máximo de cuatro metros de distancia; además de serie de sistemas de advertencia mediante vibración y de audio para que el usuario pueda reaccionar ante objetos cercanos; lo que facilita el entendimiento de los niños frente a su entorno. Este dispositivo está diseñado para trabajarse junto a unos ejercicios que ayuden en la orientación espacial de los niños durante la clase de educación física. Pensando en eso su diseño está hecho para que sea cómodo, que no limite a los niños en su movilidad y que pueda cumplir con su función sin ser afectado en su mayoría por el movimiento del usuario.

Elaboración del plan del proyecto

A partir de la investigación realizada en la institución, pudo obtenerse información de la clase de educación física y de cada niño, con el fin determinar los requisitos funcionales, no funcionales y de calidad, que debe de cumplir el dispositivo final.

Proceso de desarrollo del proyecto

En esta etapa se construyó un primer prototipo con el fin de evaluar el sistema de avisos por audio, el dispositivo poseía una estructura básica compuesta por el Arduino UNO, un sensor de proximidad y el Shield de audio. Este primer prototipo fue sometido a pruebas donde se buscaba conocer el criterio de los usuarios con respecto a pitidos y el uso de la voz humana, además de que conocieran de primera mano cada componente mediante el tacto.

Especificación del Hardware Estático. A continuación, se listan las características del *hardware* utilizado en la construcción del dispositivo.

Hardware utilizado en los prototipos

El micro controlador Arduino UNO [11] es el componente que recibe los datos del sensor de distancia HC-SR04 de la cabeza y realiza el cálculo para concluir a que distancia se encuentra el objeto frente al usuario; dependiendo del rango de distancia el Arduino detecta tres casos:

- Si el objeto está entre 4 cm y 50 cm se toma como un objeto cercano al usuario y reproduce un audio que dice “Objeto a corta distancia, ¡cuidado!”
- Si el objeto está entre 50 cm y 100 cm se toma como un objeto a una distancia media del usuario y reproduce un audio que dice “Objeto a media distancia”
- Si el objeto está entre 100 cm y 150 cm se toma como un objeto lejano al usuario y reproduce un audio que dice “Objeto a larga distancia”.
- Si el objeto se encuentra a una distancia superior a 150 cm, no se tomará como una amenaza y no reproducirá ningún audio.

Dependiendo del caso, el Arduino envía una alerta sonora a través del Music Shield V2, para alertar al usuario sobre el objeto que se encuentra frente a él.

Otro de los componentes usados fue el Arduino NANO [12], que recibe las señales de un sensor HC-SR04 ubicado en el pecho del usuario. Fue utilizado un Arduino por cada sensor de proximidad, ya que estos no poseen la capacidad de realizar tareas en paralelo, por lo tanto, en el dispositivo existen dos Arduino NANO los cuales envían pulsos PWM¹ [13] a los motores vibradores a los costados del usuario. Estos pulsos dependen de los mismos casos que el Arduino UNO.

- Si el objeto está entre 4cm y 50cm se toma como un objeto cercano al usuario y los motores vibran fuertemente.
- Si el objeto está entre 50cm y 100cm se toma como un objeto a una distancia media del usuario y los motores vibran.
- Si el objeto está entre 100cm y 150cm se toma como un objeto lejano al usuario y los motores vibran suavemente.
- Si el objeto se encuentra a una distancia superior a 150 cm no se tomará como una amenaza y los motores no vibran.

El **Shield Music Shield V2** es un codificador / decodificador de audio compatible con Arduino. Se basa en el chip VS1053B, lo que le permite reproducir archivos de sonido desde una tarjeta micro SD [14]. Gracias a este componente es posible reproducir los avisos de audio que le explican al niño claramente, que debe de tener cuidado con un objeto frente a él.

1. La modulación por ancho o de pulso (o en inglés pulse width modulation PWM) es un tipo de señal de voltaje utilizada para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. Este tipo de señales son muy utilizadas en circuitos digitales que necesitan emular una señal analógica [13].

Para la detección de los objetos se utilizó el **sensor de proximidad por ultrasonido - HC-SR04**, que mediante ondas ultrasónicas de 40kHz, detecta la distancia de objetos en cualquier superficie que se encuentre frente a él, este posee un rango de detección de 2 a 400 cm, y un ángulo de visión de 30 grados. Este es el componente principal de todo el dispositivo, debido a que a través de este se detectan los obstáculos frente al usuario. Se utilizaron tres sensores; dos ubicados en el pecho del usuario para detectar objetos frente y a los lados del usuario; y un tercero en la cabeza para detectar aquellos obstáculos frente al rostro del portador [15].

Finalmente, para la retroalimentación a través del tacto, se usaron motores vibradores de 5V. Se utilizaron dos motores vibradores de 5V que se ubicaron a la altura del pecho en los costados del usuario, con el fin de darle aviso sobre posibles objetos ubicados a sus costados. El motor funciona a mayor velocidad cuando los objetos se encuentran más cerca [16].

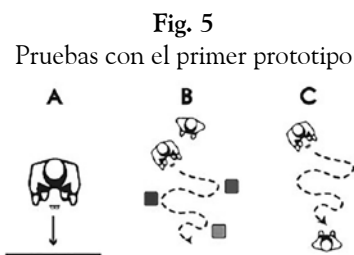
Prueba y evaluación de los prototipos del dispositivo

Durante el desarrollo de los prototipos del traje inteligente, se realizaron diferentes pruebas de usuario con cada uno de los prototipos desarrollados, con el fin de validar su funcionalidad, usabilidad y accesibilidad desde el inicio hasta el final del proyecto.

Prototipo 1

El prototipo 1 se creó para probar la funcionalidad del sensor de distancia, y una retroalimentación del sensor por medio de pitidos que cambiaban su frecuencia dependiendo de la cercanía del objeto detectado (entre más cerca el objeto, más rápido se repetían los pitidos).

- *Evaluación del prototipo 1:* para evaluar el primer prototipo se realizaron tres pruebas y se observó cómo reaccionaban los niños respecto a las alertas con pitidos (Fig. 5).



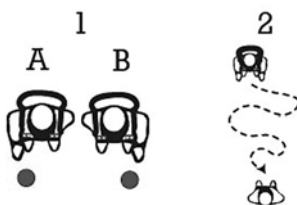
- *Caminar hacia una pared*: El niño debía dirigirse hacia una pared y detenerse cuando el dispositivo les avisara que la pared está muy cerca (el dispositivo avisaba con un pitido constante). Esta prueba permitió saber si el niño reaccionaba adecuadamente ante las alertas del dispositivo.
- *Búsqueda guiada de objetos*: El niño debía encontrar los objetos que estaban frente a él mientras estaba siendo guiado por el instructor. Esta prueba permitía conocer los límites de detección del dispositivo.
- *Búsqueda instructor*: El niño debía encontrar al instructor dentro de la habitación solo usando el dispositivo. Esta prueba permitió saber si el niño entendió cómo funciona el dispositivo.
- *Análisis del prototipo 1*: A partir del análisis de la prueba con el Prototipo 1, se conoció por parte de los usuarios que los comandos de voz humana eran la mejor opción para el sistema de avisos sonoros. También se evidenció que existen usuarios con dificultades auditivas, por lo cual fue necesario desarrollar un sistema similar haciendo uso de comandos con vibración.

Prototipo 2

El segundo prototipo no involucra avisos con audio, para evaluar el uso de avisos por medio de vibraciones. Este segundo prototipo posee la cualidad de tener dos sensores de proximidad; dos Arduinos NANO y dos motores vibradores. Están ubicados dentro de un maletín con el fin de construir un prototipo que no limite el uso de las manos de los usuarios.

- *Evaluación del prototipo 2*: Para evaluar el segundo prototipo se realizaron dos pruebas para observar cómo reaccionan los niños con respecto a las alertas por medio de vibraciones (Fig. 6).

Fig. 6
Pruebas con el segundo prototipo



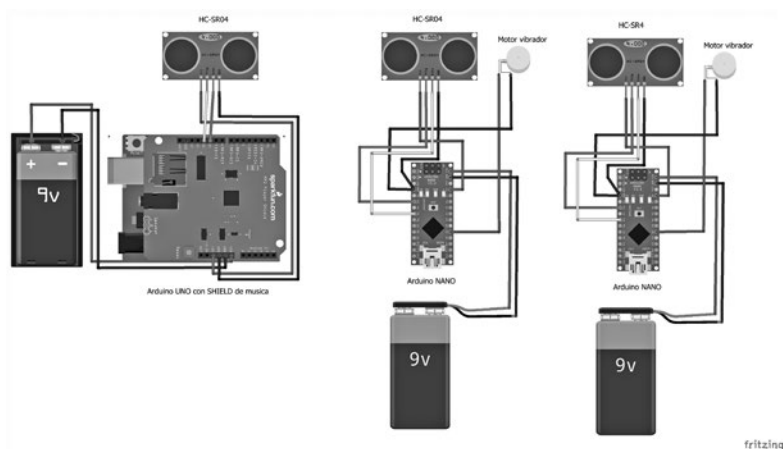
- *Detección de objetos con distinción de lado*: En esta prueba el niño debía detectar si el objeto que tenía al frente estaba más cerca del lado derecho o del lado izquierdo. Esta prueba permitió conocer si los niños distinguen las alertas por vibración a cada lado del pecho.

- *Búsqueda instructor:* El niño debía encontrar al instructor dentro de la habitación solo usando el dispositivo. Esta prueba permitió saber si el niño entendió cómo funcionaba el dispositivo a través de vibraciones y saber si el usuario con problemas auditivos era capaz de usar el dispositivo.
- *Análisis del prototipo 2:* Tras el análisis de la prueba con el Prototipo 2, se pudo concluir que el uso de vibraciones fue totalmente satisfactorio para los usuarios, pero el uso de un maletín no era una opción viable para el dispositivo final debido a que generaba mucho peso a los usuarios y sus correas no permitían que los sensores pudieran estar de la forma y altura correcta. Esto conllevó a crear una estructura que fuese adecuada para la mayoría de usuarios; cómoda y que no les genere limitantes al usarlo.

Prototipo final

A partir del punto anterior, se determinó que para la culminación del dispositivo final era necesaria la unión de los componentes que hacían parte de los prototipos 1 y 2; debido a la importancia de la retroalimentación por medio de audios, que le permitan actuar de manera eficaz a los niños, y la retroalimentación por medio de vibraciones que permiten a los niños ciegos con problemas auditivos, hacer uso del dispositivo (debe aclararse que no se usó un *hardware* especializado en textiles, debido a la falta de recursos económicos del proyecto). A continuación, se incluyó el esquema de cómo están conectados todos los componentes del dispositivo final (Fig. 7).

Fig. 7
Esquema del *hardware* del dispositivo final



Para la implementación del dispositivo final, se diseñó una prenda inteligente que fuese unisex y multitalla. Se implementó el dispositivo final en una prenda

ya que no exigía el uso de las manos, ni generaba incomodidad al usarlo. La prenda que fue manufacturada con tela de dril, posía un sensor de distancia en cada hombro para detectar los obstáculos al frente y a los costados del usuario avisándole, por medio de vibraciones y un tercer sensor ubicado en la capucha, mediante comandos de voz, sobre objetos que se encuentren en la dirección que apunte su cabeza, protegiendo así el rostro del usuario.

Esta prenda fue bautizada “capa sensorial”, debido a su diseño en forma de capa de super héroe fomentando su uso en los niños (figuras 8 y 9).

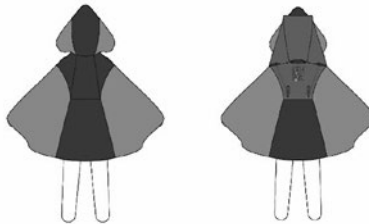
Fig. 8

Parte frontal de la capa sensorial



Fig. 9

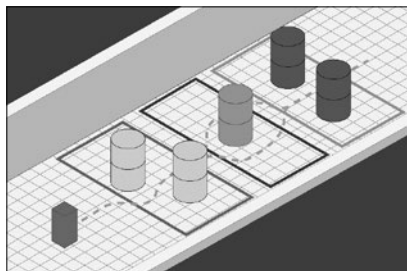
Parte trasera de la capa sensorial



- *Evaluación del prototipo final:* El prototipo final se puso a prueba a través de un recorrido (Fig. 10) que exigía a los niños tener coordinación y orientación para superarla.

Fig. 10

Circuito para probar el dispositivo final



Para realizar esta prueba, el grupo con el que se estaba trabajando fue dividido en dos, de la siguiente manera: un *grupo de control* compuesto por dos niñas que debía recorrer el circuito sin la ayuda de ningún dispositivo, y un *grupo experimental* compuesto por dos niños y una niña que debía recorrer el circuito que se dividía en tres secciones usando el prototipo final.

En la primera sección debían evitar los obstáculos haciendo uso de los sensores a cada lado del pecho. En la segunda sección solo debían evadir el obstáculo con la ayuda de las alertas y en la última sección debían detectar ambos obstáculos con los sensores del pecho y detectar que había un espacio en la mitad con el sensor de la cabeza.

Análisis de la prueba del prototipo final: durante la prueba se observó que el grupo de control tuvo bastantes inconvenientes como la falta de orientación, golpes repetitivos contra los obstáculos e inseguridad. Por el contrario, el grupo experimental se notaba mucho más seguro al realizar la prueba, ya que tenía una idea de hacia dónde debía dirigirse y ninguno de los obstáculos lo tomó por sorpresa.

Una vez obtenidos los resultados de la prueba, se evidenció que el número promedio de golpes con los obstáculos que poseía el grupo control fue de 2.5, y el del grupo experimental fue de 0. Por lo tanto, se comprobó que el dispositivo cumplió con el objetivo de orientar y proteger a los niños durante el recorrido de la prueba.

Posterior a la prueba se realizó un cuestionario de satisfacción a los niños del grupo experimental (figuras 11 y 12).

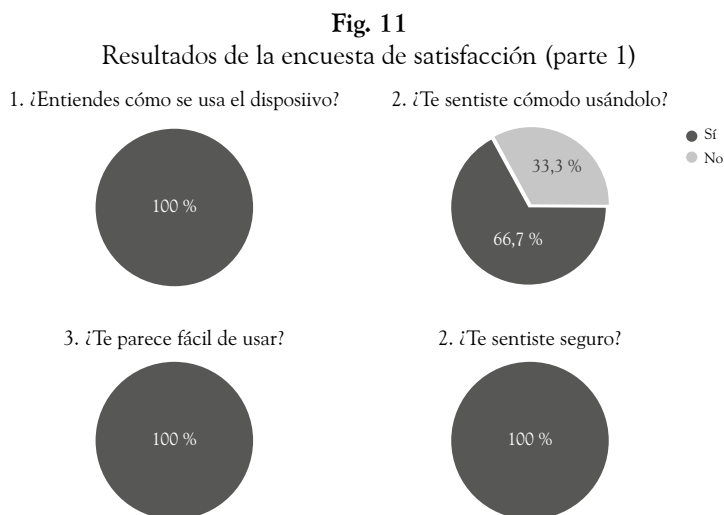
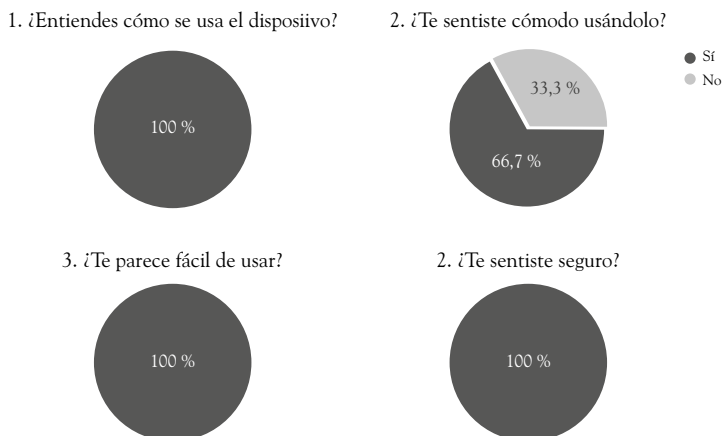


Fig. 12
Resultados de la encuesta de satisfacción (parte 2)



A través de la realización del test de usuarios durante el transcurso del proyecto, por medio de las tres pruebas realizadas a los cinco participantes, se pudieron detectar y solucionar los problemas más importantes del dispositivo y se pudo mejorar de forma iterativa la usabilidad, diseño y accesibilidad del dispositivo [17].

Con los resultados de la encuesta de satisfacción, se validó que el dispositivo era accesible para los usuarios con problemas auditivos, debido a que los integrantes del proyecto que tenían problemas auditivos, no presentaron inconvenientes al utilizarlo gracias al sistema de avisos por vibración.

Conclusiones

Gracias a la investigación realizada, se pudo evidenciar que la creación de tecnologías que asisten a personas con discapacidades va en aumento, convirtiéndose en herramientas que ayudan tanto en su diario vivir como en tareas específicas.

En los últimos años no se han desarrollando dispositivos que ayuden a los niños con discapacidad visual, esto se debe a que la gran mayoría de productos en la actualidad se pensaron para un público adulto, con el fin de facilitar la realización de tareas específicas. Por lo tanto, los niños con discapacidad visual son un mercado que no está siendo explotado, y el desarrollo de dispositivos que solucionen los problemas de este grupo objetivo serían de gran ayuda y tendrán poca competencia.

Para llegar a ser un producto comercial, el dispositivo debe someterse a un rediseño en su *hardware*, debido a que es necesario utilizar uno especializado en

textiles como el Arduino Lilypad. Se utilizó el Arduino UNO y NANO al inicio del proyecto debido a que ya se tenía experiencia con ellos y no se pudieron reemplazar al final del proyecto debido a la falta de recursos económicos. Se debe crear una carcasa resistente a golpes y humedad, para garantizar la durabilidad del dispositivo, el cual debe ser fácil de retirar de la prenda para que esta pueda ser lavada en cualquier momento.

A largo plazo el dispositivo será de gran ayuda para los niños con discapacidad visual; permitiéndoles un mejor desarrollo en su movilidad y aumentando su confianza para recorrer nuevos espacios. Además, se pudo conocer de la mano del grupo objetivo, que las dificultades motrices pueden ser abarcadas y tratadas mediante el uso de dispositivos tecnológicos aplicados a la salud y bien estar del niño.

Por este motivo el proyecto de la *capa sensorial* busca ser el primero entre muchos por venir, debido a que la realización de este tipo de productos interactivos ayuda a mejorar la comprensión de ellos mismos y del mundo que los rodea desde pequeños. De esta forma institutos dedicados a esta población, podrán poseer gran cantidad de dispositivos dedicados a ayudar a los niños en sus terapias, en el aula y otros espacios donde se desarrollen sus actividades. De esta forma el niño se sentirá no solo más protegido, si no que podrá hacer uso de muchas herramientas que le permitan mejorar su calidad de vida tanto en el colegio como fuera de este.

Trabajos futuros

- *Dispositivo que corrige las etapas de la marcha en niños con discapacidad visual:* idea creada a partir de referencias con la docente de educación física, la cual consiste en un par de sensores que funcionan cuando se les aplica presión con las plantas de los pies. El dispositivo podrá verificar de manera correcta la ubicación del talón y la almohadilla del pie, de no ser válida la posición de la planta del pie o se esté apoyando el talón antes que la punta del pie, el dispositivo avisará al usuario por medio de vibraciones para que él solo se corrija, además que avise al docente para que se haga una mejor terapia y de esta forma poder detallar el principal problema de la marcha incorrecta de lo niño.
- *Reconocimiento rápido de objetos cotidianos en usuarios con discapacidad visual:* a través de sensores RFID o reconocimiento de imágenes, se plantea un dispositivo que ayude a identificar de manera rápida, aquellos objetos cotidianos que los niños o adultos invidentes no reconozcan o estén buscando,

pudiendo también saber su descripción y funcionalidad por medio de audios personalizados para cada objeto.

- *Dispositivo que facilite la lectura y aprendizaje del braille en usuarios con discapacidad visual*: El Instituto para Niños Ciegos y Sordos desea un dispositivo que ayude a enseñarles a los niños ciegos a leer braille de una forma más rápida, en comparación a la que se enseña actualmente, así como también dar apoyo a aquellos docentes que no saben leer braille.
- *Dispositivo que sirva de traductor de lectura normal a lectura braille*: a partir de la investigación que se hizo en la institución, se pudo notar que el gran problema en los niños con discapacidad visual era que ellos no tenían la capacidad de poder leer libros en letra imprenta (a menos que se lo leyeran). Por ese motivo la institución busca una tecnología de bajo costo para que cada niño pueda usarlo para interpretar los textos que no se encuentren en braille. Dicho dispositivo puede ser creado con una cámara que use reconocimiento de imágenes para interpretar cada letra y que a través de audios, enseñe al usuario qué dice el libro. Otra alternativa es hacerlo a través de un dispositivo que por medio de motores cree braille con cada una de las letras.

Referencias

- [1] A. E. Rosalén. (2014) *El desarrollo psicomotriz en el niño ciego* [en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos101/desarrollo-psicomotriz-nino-ciego/desarrollo-psicomotriz-nino-ciego.shtml>. Último acceso: 29 de mayo del 2018.
- [2] A. Medrano, Á. Serra, C. Soto y D. Díaz. *Metodología de Desarrollo de Hardware Libre* [en línea]. Disponible en: http://www.cenditel.gob.ve/files/u1/Cenditel_GestionHLv1_8.pdf
- [3] [3] S. Dra. Baldassarr. (2014) *Proceso de Diseño Centrado en el usuario* [en línea]. Disponible en: http://webdiis.unizar.es/asignaturas/DCU/wp-content/uploads/2014/02/1.DCU_ModeloProceso_valumnos.pdf. Último acceso: 29 de mayo del 2018
- [4] C. Martinez y K. Moss. (1998) *Entrenamiento en Orientación y Movilidad: Debe hacerse* [en línea]. Disponible en: <http://www.tsbvi.edu/seehear/fall98/waytogo-span.htm>
- [5] S. Hoefer. (2011 agosto 8) *Meet The Tacit Project. It's Sonar For The Blind* [en línea]. Disponible en: <http://grathio.com/2011/08/meet-the-tacit-project-its-sonar-for-the-blind/>

- [6] PRIMPO (2011 septiembre 4) *iSONIC State-of-the-art electronic white cane* [en línea]. Disponible en: <http://www.primpo.com/eng/products/isonic.html>.
- [7] euronews.com (2016 marzo 3) *Un chaleco que ayuda a caminar a los ciegos* [en línea]. Disponible en: <http://es.euronews.com/2015/03/25/un-chaleco-que-ayuda-a-caminar-a-los-ciegos>
- [8] M. Carreiras y B. Codina. “Cognición espacial, orientación y movilidad: consideraciones sobre la ceguera” *Integracion*, nº 11, pp. 5-15, 1993.
- [9] Microsoft. (2014 noviembre 5) *Independence Day* [en línea]. Disponible en: <https://news.microsoft.com/stories/independence-day/>
- [10] L. Guanochanga. (2013 noviembre 30) *Motricidad gruesa* [en línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/lorenaguanochanga/motricidad-gruesa-27756507>
- [11] Arduino.cl. *Arduino UNO R3* [en línea]. Disponible en: <http://arduino.cl/arduino-uno/>.
- [12] Arduino.cc. *Arduino Nano* [en línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- [13] Arduino UTFSM. *Modulación por ancho de pulso (PWM)* [en línea]. Disponible en: <http://www.arduino.utfsm.cl/modulacion-por-ancho-de-pulso-pwm/>
- [14] seeedstudio.com. *Music Shield V2.0* [en línea]. Disponible en: <https://www.seeedstudio.com/Music-Shield-V2.0-p-1372.html>
- [15] elec Freaks. *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04* [en línea]. Disponible en: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- [16] didacticaselectronicas. *Motor vibrador 2Y06* [en línea]. Disponible en: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/motores-y-solenoides-1/otros-motores-1/motor-vibrador-2y06-m-v-7-detail>
- [17] Y. H. Montero y S. Ortega Santamaría. *Metodologías y técnicas de DCU* [en línea]. Disponible en: http://www.nosolousabilidad.com/manual/3_2.htm

(SUBMISSION 107)

Aspectos teórico-prácticos para el desarrollo de interfaces de usuario tangibles -TUI-

KELLY J. CÓRDOBA QUINTANA

PAOLA J. RODRÍGUEZ

JAVIER M. REYES

Universidad del Valle
Colombia

Resumen

Este artículo es un resultado del trabajo realizado para el proyecto de investigación denominado *Lineamientos para el diseño de contenidos e información para interfaces tangibles de usuario -TUI-*. Se muestra una revisión de los elementos que permiten definir una TUI desde su taxonomía, su forma de construcción, criterios para el modelado de una TUI y las posibles relaciones que puede tener usuario-objeto, objeto-objeto. Finalmente, se presenta el desarrollo de un prototipo denominado AnimalesTUI cuyo objetivo es contextualizar lo estudiado en la revisión académica.

Palabras clave: interfaz de usuario tangible, taxonomías, modelado de una TUI, prototipado de una TUI.

Introducción

Una interfaz de usuario tangible (en adelante TUI) está diseñada para dar forma física a la información digital permitiendo a los datos virtuales ser representados físicamente y ser controlados a través de la manipulación tangible [1]; el

número de objetos que compone una TUI varía dependiendo de su propósito, y la identificación se hace a partir de códigos de barras, códigos QR, marcadores fiduciales, etiquetas Near Field Communication (en adelante NFC, por sus siglas en inglés) o Radio Frequency Identification (en adelante RFID, por sus siglas en inglés) donde su elección depende del rango de lectura que se requiera.

Desde el punto de vista conceptual, las TUI generan un cambio en la manera como las personas se relacionan con la información digital, cuyo objetivo es tomar ventaja de la interacción háptica; es decir, facilita la manipulación directa de los datos mediante mecanismos tangibles. De esta manera, el contacto del usuario con la interfaz se hace explícito [2].

Una ventaja de las TUI es que la interacción se realiza de manera más natural en comparación con interfaces de usuario convencional, pues el usuario genera una relación más directa con el mundo real. Cabe resaltar que estas que permiten la interacción de varios usuarios simultáneamente, lo cual facilita la integración social y queda evidente el servicio de la tecnología al ser humano.

Finalmente, aunque no existe una definición formal de TUI, en la revisión de la literatura se plantean un conjunto de taxonomías con el propósito de identificar sus elementos y, si bien la caracterización es diversa, la acepción planteada por [1] se mantiene. El presente artículo busca, desde el punto de vista conceptual, caracterizar los elementos de una TUI a través de la revisión de la literatura académica; y desde el punto de vista técnico y tecnológico, comprender la manera en la que se conjugan los elementos a partir del desarrollo de prototipos que permitan vislumbrar sus alcances y aplicaciones desde una perspectiva de *hardware* y *software*.

Planteamiento del problema

Los avances en *hardware* y *software* conducen a la generación de nuevas formas de interacción humano - computador (en adelante HCI) donde los medios tradicionales de comunicación como el ratón y el teclado, empiezan a ser desplazados por la comunicación táctil, gesticular, de voz, de movimiento y en general, por medios que permitan reducir la brecha entre el medio físico y digital.

De esa manera, el campo de investigación en HCI se ha encaminado al aprovechamiento del entorno físico para manipular la información digital. Es aquí donde aparecen las Interfaces de Usuario Tangibles -(TUI), como una propuesta emergente que busca convertir el espacio físico en un entorno intuitivo para el usuario.

Siendo este campo de conocimiento novel, su estado del arte apenas está en construcción y difícilmente se puede acceder a algún material que condense definiciones, caracterización, tecnologías y herramientas a usar, entre otros aspectos teóricos y técnicos. Aunque en la literatura académica se encuentran ciertas aplicaciones y prototipos generados en diversos contextos de uso como la enseñanza, la música y la comunicación, estos trabajos aparecen de manera aislada, evidenciando la necesidad de analizar dichos resultados para establecer las potencialidades de una TUI.

De acuerdo con lo anterior, este artículo contempla aspectos de orden teórico y práctico reflejados en un conjunto de taxonomías y un modelado para facilitar el proceso de implementación desde el diseño, lo cual sirve como referencia para posteriores desarrolladores que quieran incursionar en este tema y enriquecer el acervo práctico-teórico de las TUI.

Definición

Algunas de las definiciones de TUI encontradas son: en [3] se indica que el principio orientador de la TUI es dar forma física a la información digital, sirviendo a su vez de representación y siendo directamente manipulables con las manos, es decir, se aumenta el mundo físico (real) mediante la unión de la información digital a los objetos cotidianos; por su parte [4] sugiere que una TUI busca favorecer el carácter intuitivo de una interacción; también [5] afirma que una TUI permite al usuario *aprehender datos* mediante la interacción con objetos físicos, generando cambios a nivel digital (datos) y físico; y finalmente [6] define una TUI, como una interacción física, convirtiendo objetos físicos en dispositivos de entrada y salida.

Si bien los anteriores autores aparecen citados en artículos recientes, todas estas definiciones junto con otras encontradas, se derivan directamente del trabajo de Hiroshi Ishii [7]–[11], pionero en este campo, quien define una TUI como “una manera novedosa de interacción y llena de posibilidades en el área de HCI, que tiene como objetivo disminuir la brecha entre el mundo digital y físico, gracias a la articulación de la información digital con objetos de uso cotidiano”. En conclusión, una TUI, es una interfaz de usuario, en la cual objetos del entorno físico se conjugan para brindar información digital y/o permitir modificarla a través de una interacción explícitamente física usuario-objeto, o implícita objeto-objeto, pero generada por la intervención inicial del usuario sobre cualquiera de estos objetos. Un aspecto a resaltar es la naturaleza intuitiva que deben tener los objetos físicos en una TUI, es permitir que la interacción

realizada sea más natural en comparación con las interfaces de usuario digitales convencionales.

Caracterización

Este apartado busca determinar los atributos propios de una TUI, de modo que se distinga claramente de otro tipo de interfaces de usuario. En este sentido, se proponen inicialmente dos formas de clasificación (taxonomías) derivadas de la revisión de diversos ejemplos de aplicación encontrados en la literatura académica y posteriormente, una descripción de los elementos que intervienen en una TUI y su comportamiento.

Elementos que intervienen en una TUI

Para que una TUI sea considerada como tal, es necesario que existan los siguientes elementos:

- *Usuario*: Interactúa con la TUI mediante la manipulación de los objetos físicos, es decir, ejecuta acciones sobre un objeto en sí mismo (tales como agitarlo, presionarlo, entre otras) o en relación con otro.
- *Objetos*: Son los elementos del entorno que serán manipulados por el usuario, estos son referenciados de diferentes maneras, de acuerdo con diversos autores, como *token & constraints* [12], *prop* [4], *pyfo* [5] entre otros.

Taxonomía de las TUI

De acuerdo con la capacidad de inferencia:

- *TUI's Reactivas*: cuando los objetos físicos que conforman la TUI reaccionan en respuesta a una interacción con otro objeto o a una acción provocada por parte del usuario, reflejando un cambio en sí mismos, el cual está dado en términos de la información digital que puede mostrar al usuario o también en información que puede ser percibida por los sentidos. Un ejemplo de ellas es *Sífteo Cubes* [13].
- *TUI's Inteligentes*: cuando en el momento de darse la interacción, algún objeto físico tiene la capacidad de identificar a otros y puede razonar en torno al tipo de comportamiento que debería tener la TUI, acorde con los objetos participantes en dicha interacción. Esto implica que los resultados de una interacción pueden variar dependiendo de los objetos que participan en la interacción y la forma como lo hacen (variación de posición, ángulo, contacto, etc.). Por ejemplo *Audio Cubes* presentado en [14].

De acuerdo con su forma de construcción:

- *Superficies interactivas*: donde los objetos que permiten el despliegue de la información digital son planos y aumentados; es decir, auto-proyectan la información digital. Adicionalmente, tienen la capacidad de “detectar la presencia, movimiento, identidad y las relaciones entre los objetos” [15]. También, una superficie interactiva puede trabajar con objetos que no sean auto-informativos en sí mismos, y al interrelacionarse producen cambios en la información digital que debe desplegar en ella.
- *Piezas auto-informativas*: Donde los objetos físicos tienen la capacidad de desplegar información en sí mismos de acuerdo con la interacción. Generalmente, esta información es parcial de tal forma que la información global se deriva de la sinergia de estas piezas, las cuales se interrelacionan de manera modular.
- *Token and Constraints (TAC)*²: Donde se establece una relación directa entre los objetos físicos de acuerdo con su acople real, es decir, objetos que encajan de una manera específica, y solo cuando el usuario logre su empalme físico se generará la información digital o una acción en otro objeto [12].

Comportamiento entre los elementos que intervienen en una TUI

Tiene como finalidad clasificar el comportamiento de una TUI de acuerdo a las posibles relaciones entre los elementos que la componen.

- *Interacción [usuario-objeto(s)]*: se establece cuando el usuario realiza una acción (como levantar, desplazar, sacudir, presionar, entre otros.) con un objeto en un momento dado, desencadenando una respuesta que puede darse en el mismo objeto, en una pantalla (reproduciendo un video, imagen, documento, etc.) o cerca del objeto, pero se percibe por los sentidos del

2. En general, se pueden distinguir los siguientes tipos de objetos: Tokens, son objetos físicos aprehensibles que pueden ser activos o pasivos, dependiendo del papel que jueguen en la interacción con el sistema; se consideran activos los que representan funciones, en otras palabras, permiten manipular la información digital presente en el sistema y pasivos los que representan información digital mediante etiquetas, tales como códigos QR, identificación por radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés), entre otros. La forma del objeto está ligada con la información que almacenan, por lo tanto se manejan analogías con el mundo real para el diseño de las interfaces tangibles, facilitando así, el aprendizaje del usuario sobre el funcionamiento de la interfaz [5], [15]; por otro lado una Constraint es un objeto físico que limita el comportamiento de un Token con el que esté asociado, adicionalmente las propiedades físicas relacionadas con una Constraint, guían al usuario para entender cómo manipular los objetos [12], además, define los criterios de interrelación de los Tokens.

usuario (generalmente llamados *no aprehensibles* [3], como sonido y aroma [16].

- *Interrelación (objeto-objeto)*: Se establece cuando un objeto entra en relación con otro, y desencadenan una respuesta en conjunto; que puede darse en uno o en ambos objetos, en una pantalla o cerca del mismo objeto.

Modelado

El modelado de una TUI difiere del modelado del *software*, lo que ha generado ciertos inconvenientes, por ende se han propuesto proyectos que exponen diferentes métodos para ello, un ejemplo es [12] donde se muestran unos diagramas que abstraen la relación de los objetos, sin embargo esa representación no describe la relación digital completamente. Por otra parte, autores como [4], [17], [18] realizan la visualización del esquema de la TUI que resulta ser muy importante para concebir la complejidad en su implementación. Para el modelado de una TUI proponen un conjunto de niveles que se muestran a continuación:

- *Nivel 1. Breve descripción*, da una visión general sobre el propósito de la TUI;
- *Nivel 2. Identificación y asociación de los elementos que intervienen en una TUI*, se realiza la caracterización de los elementos físicos que intervienen en la interfaz de usuario teniendo en cuenta la taxonomía propuesta en la Sección 3 – B del presente artículo.
- *Nivel 3. Descripción de metáforas*, se realiza una breve descripción de la metáfora implementada.
- *Nivel 4. Aspecto funcional*, se realiza una descripción sobre el funcionamiento de la TUI, teniendo en cuenta aspectos relacionados con el *hardware* y el *software*.
- *Nivel 5. Diagramas de casos de usos*, permite representar de manera completa la funcionalidad de la TUI, mostrando su interacción con agentes externos.
- *Nivel 6. Prototipo en papel*, permite generar un boceto inicial de la interfaz, el cual puede ser modificado con el fin de depurar el diseño.
- *Nivel 7. Diagrama de dialogo*, contiene el conjunto de posibles estados en los que pueda estar la TUI. En este nivel se pueden apreciar todas las posibles interacciones que puede realizar un usuario (por ejemplo reproducir, parar o eliminar) [19].

- Nivel 8. *Diagrama de tarea*, proporciona una vista detallada de cada interacción posible entre el usuario y la TUI, este nivel permite describir los objetos de interacción empleados, así como su efecto en el mundo físico y digital [19].

Pruebas

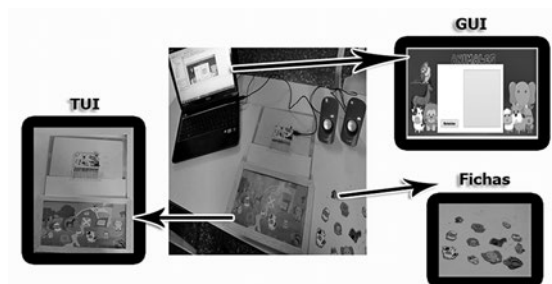
Durante la revisión de literatura, se encontró que autores como [2], [20], [21], entre otros, realizan pruebas empíricas del funcionamiento con usuarios finales quienes ofrecen una retroalimentación sobre la TUI. Generalmente, las pruebas consisten en la interacción del usuario con la interfaz, donde el evaluador puede dar una pequeña introducción del uso de la TUI o realizar preguntas con el fin de medir la facilidad de uso, validar la metáfora empleada, el grado de satisfacción, entre otros. Esta prueba se registra en video para posterior análisis

Además de lo anterior, las evaluaciones encontradas son estudios comparativos, a menudo en forma de estudios de laboratorio empíricos cuantitativos, evaluación heurística y observación directa [5]. Los estudios comparativos intentan cuantificar el costo y los beneficios de la interacción tangible comparándolo con otros estilos de interacción GUI (Graphical User Interfaces).

Prototipos

Con el fin de contextualizar la revisión teórica y conceptual, se realizaron un conjunto de prototipos que fueron debidamente evaluados con usuarios potenciales. Para su desarrollo se utilizó una *Touch Board*; un dispositivo electrónico compatible con Arduino®, también se usó una tinta eléctrica denominada *Electric Paint*. Inicialmente se realizó un prototipo de TUI llamado *Carta-menú*, el cual reproducía sonidos asociados a platos de comida de un restaurante, aquí se hizo una exploración técnica de la *Touch Board*, luego se desarrolló *TouchTUI* que consiste en una TUI desarrollada como un instrumento musical, en este caso un piano en una superficie de cartón. Una versión mejorada de *TouchTUI* se logró con la adición de un controlador MIDI que permitió coordinar los *inputs* con un programa externo de producción musical. Finalmente, se creó *AnimalesTUI* cuya superficie está conformada por un conjunto de 12 animales con sus respectivas fichas, una vez que el usuario coloca cada ficha en su respectivo animal, surge una retroalimentación auditiva y en un laptop se proyecta la imagen y el nombre de cada uno. Para efectos de ejemplificar se presentará el modelado propuesto con el prototipo de *AnimalesTUI*:

Fig. 1
AnimalesTUI y sus componentes físicos



Fuente: imagen propia del prototipo creado.

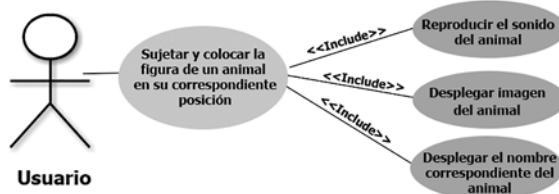
De acuerdo con lo mostrado en el apartado IV del presente artículo se tiene:

- *Nivel 1. Breve descripción:* es una aplicación que asocia fichas con formas de diferentes animales en una superficie, donde se coloca la ficha en su correspondiente posición lo cual genera una salida en audio (sonido del animal), adicionalmente una visualización en pantalla con la imagen del animal y su nombre asociado.
- *Nivel 2. Identificación y asociación de los elementos estructurales de Animales-TUI* (teniendo en cuenta la caracterización propuesta en el apartado IV del presente artículo), se clasifica en *Token and Constraint*, donde la superficie de la interfaz limita el comportamiento de los objetos (las fichas); es decir, las fichas deben colocarse en cierta posición de la superficie para generar una respuesta del sistema. Adicionalmente, el comportamiento relacionado con los objetos que la componen está dado de la siguiente manera: en una primera instancia se tiene una interacción del usuario con el objeto (Ficha) y este a su vez en una interrelación con otro objeto (Superficie).
- *Nivel 3. Descripción de metáforas,* las figuras asociadas a los diferentes animales empleadas en la TUI, guardan una estrecha relación con la forma de los animales en el mundo físico; es decir, son dibujos animados en vez de fotografías reales.
- *Nivel 4. Aspecto funcional,* es un aplicación desarrollada en Java que emplea el paquete *javax.sound.midi* para realizar la lectura de los dispositivos MIDI, el código está compuesto de tres clases: *LeerMIDI* (Se encarga de la lectura de los controladores MIDI), *Main* (Contiene los elementos visuales de la interfaz) y *EntradaMIDI* (Se encarga de identificar los pines de la tarjeta y generar la respuesta teniendo en cuenta el pin seleccionado por el usuario),

adicionalmente, se programa previamente la tarjeta en *Arduino* para que se comporte como un controlador MIDI.

- Nivel 5. *Diagramas de casos de usos*

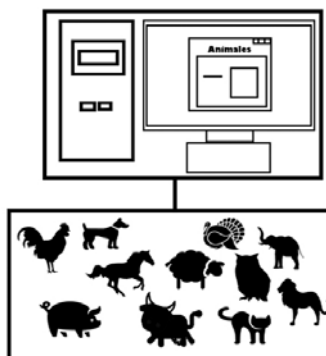
Fig. 2
Sujetar y colocar la figura del animal en su correspondiente posición



Fuente: imagen propia del caso de uso creado.

- Nivel 6. *Prototipo de papel*, en la Figura 3 se observa el diseño inicial del prototipo AnimalesTUI.

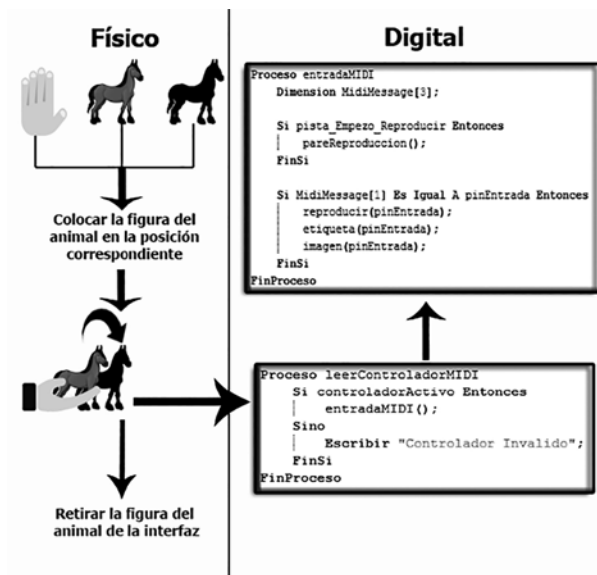
Fig. 3
Prototipo de papel



Fuente: imagen propia del prototipo creado.

- Nivel 7. *Diagrama de diálogo*: animalesTUI solo emplea una posible interacción (sujetar y colocar la figura del animal en su correspondiente posición), por ende, no se contemplaron más funcionalidades dado que el propósito de la TUI es generar un sonido y una visualización de información (imagen y texto), de acuerdo con el animal escogido por el usuario.
- Nivel 8. *Diagrama de tarea*: en la Fig. 4 se observan los eventos generados desde el mundo físico que desencadenan una serie de instrucciones en el mundo digital.

Fig. 4
Diagrama de tareas de AnimalesTUI



Fuente: imagen propia del prototipo creado.

Resumen sobre las pruebas realizadas a los prototipos de TUI implementados

Para la evaluación de los prototipos implementados se manejó la misma dinámica; es decir el mismo esquema para facilitar la comprensión y análisis de la prueba donde se estableció un guion de tareas (para este punto se tuvo en cuenta las tareas que se pueden desarrollar con el prototipo estableciendo un guión que permita sugerir a los usuarios *-¿qué?-* debe hacer con el elemento, pero no se dice él *-¿cómo?-* precisamente para descubrir las brechas comunicativas), un plan de evaluación (donde se reconoce el objetivo general, población, proceso de evaluación, consentimiento informado, entre otros), características y comentarios (se realizan conclusiones teniendo en cuenta el comportamiento del usuario y sus comentarios durante la prueba), ausencias (teniendo los comentarios y la observación realizada se destaca los elementos ausentes en el prototipo), una evaluación heurística (permitió valorar los elementos empleados en el diseño de la interfaz y establecer si cumplían con los principios de usabilidad) y unas conclusiones.

Cada uno de los prototipos arrojó un conjunto de conclusiones relacionadas que permiten mejorar el diseño (modificar o elegir una analogía con el mundo

real para facilitar la comprensión del usuario frente a este tipo de interfaz). En la mayoría de los casos los usuarios finales reconocieron de manera directa la interfaz y de forma casi automática se sabía qué debía hacer sin intervención o explicaciones por parte del evaluador, lo anterior permitió comprobar que el modelado propuesto ayudó a corregir problemas de diseño y facilitó la depuración de los pasos relevantes para el desarrollo de los prototipos implementados.

Conclusiones

Las acepciones que permiten definir el concepto de una TUI son actualmente difusas dado que es una apuesta tecnológica relativamente novedosa, sin embargo, queda claro que tiene unos elementos mínimos donde debe primar la relación física del usuario con los datos digitales; esto contribuye a mejorar la interacción del ser humano con la tecnología digital, pues su manipulación se hace de una forma más transparente y más cercana a su propia realidad tridimensional.

Los prototipos desarrollados han permitido explorar la tecnología y sus áreas de aplicación, en el desarrollo del proyecto se observó que para crear una TUI se requiere de un equipo interdisciplinario conformado por expertos en el área de informática, diseño (gráfico e industrial) y electrónica.

El proceso de evaluación de usabilidad de los prototipos desarrollados implicó el uso de varios métodos entre los que se destacan: entrevistas, encuestas, evaluación heurística y observación directa. Se hizo análisis de expertos quienes dieron sugerencias para mejorar los elementos de las TUI en unas versiones posteriores.

Referencias

- [1] H. Ishii y B. Ullmer, "Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms" en *proc. of CHI'97*, pp. 234–241, 1997.
- [2] J. Carles F, D. Gallardo, and S. Jordà, "TurTan: Un Lenguaje de programación tangible para el aprendizaje," *Interacción 2009*, vol. X, no. X, p. 10, Mes, 2009.
- [3] B. Ullmer and H. Ishii, "Emerging frameworks for tangible user interfaces," *IBM Syst. J.*, vol. 39, no. 3–4, pp. 915–931, Mes, 2001.
- [4] N. Couture, J. Legardeur, and G. Riviere, "Tangible user interface integration in engineering," *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, vol. 2, no. 3, pp. 175–182, Mes, 2008.

- [5] B. O. Shaer and E. Hornecker, "Tangible User Interfaces : Past, Present, and Future Directions," *Found. Trends Human-Computer Interact.*, vol. 3, no. 1–2, pp. 1–137, Mes, 2009.
- [6] M. Lou Maher and K. M I Jeong, "Comparison of designers using a tangible user interface and a graphical user interface and the impact on spatial cognition," en *Proceedings of International Workshop on Human Behaviour in Designing*, 2005, pp. 1–14.
- [7] J. Underkoffler and I. Hiroshi, "URP: A Luminous-Tangible Workbench for Urban Planning and Design," en *CHI '99 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, 1999, pp. 386–393.
- [8] H. Ishii, "Tangible User Interfaces," en *MIT Media Laboratory*, 2006, pp. 1–17.
- [9] B. Piper, C. Ratti, and H. Ishii, "Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis," en *CHI '02 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2002, pp. 355–362.
- [10] D. Small and H. Ishii, "Design of spatially aware graspable displays," en *CHI EA '97 CHI '97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1997, pp. 367–368.
- [11] B. Ullmer and H. Ishii, "MediaBlocks: Tangible interfaces for online media," *ACM*, New York, NY, USA, 1999.
- [12] O. Shaer, Æ. N. Leland, and R. J. K. Jacob, "The TAC paradigm : specifying tangible user interfaces," en *Personal and Ubiquitous Computing*, 2004, vol. 8, no. 5, pp. 359–369.
- [13] C. Pillias, R. Robert-Bouchard, and G. Levieux, "Designing tangible video games," *Proc. 32nd Annu. ACM Conf. Hum. factors Comput. Syst. - CHI '14*, pp. 3163–3166, 2014.
- [14] J. Schiettecatte, B., & Vanderdonckt, "AudioCubes: a distributed cube tangible interface based on interaction range for sound design," en *Tangible Embed. Interact.*, pp. 3–10, 2008.
- [15] L. J. Córtes Rico, "ApTui - Framework para el diseño participativo de interacciones tangibles," Pontificia Universidad Javeriana, 2015.
- [16] K. P. Fishkin, "A taxonomy for and analysis of tangible interfaces," en *Personal and Ubiquitous Computing*, 2004, vol. 8, no. 5, pp. 347–358.
- [17] M. S. Horn, E. T. Solovey, and R. J.K Jacob, "Tangible Programming and Informal Science Learning: Making TUIs Work for Museums," en *IDC '08 Proc. 7th Int. Conf. Interact. Des. Child.*, pp. 194–201, 2008.

- [18] O. Shaer and R. J. K. Jacob, "A Specification Paradigm for the Design and Implementation of Tangible User Interfaces," *ACM*, vol. V, pp. 1–39, 2009.
- [19] O. Zi. Shaer, "TUIML : A Visual Language for Modeling Tangible User Interfaces," pp. 1–27, 2008.
- [20] C. A. Ayala Cajas, "Propuesta de una interfaz de usuario isotónica-isométrica para control de sistemas de realidad mixta para la educación," Universidad Autónoma de Madrid, 2015.
- [21] J. M. Rodríguez Corral and A. Estévez, "Aplicación del uso de interfaces tangibles de usuario a la enseñanza de lenguajes de programación," *Dep. Ing. Informática, Esc. Super. Ing. Univ. Cádiz.*, pp. 1–4, 2014.

(SUBMISSION 42)

Emotion Experience: herramienta de reconocimiento facial para medir la experiencia de usuario (UX) en niños a través de las emociones

ERIKA GUTIÉRREZ BELTRÁN

LUIS ANDRÉS DUQUE HOYOS

SANDRA CANO MAZUERA

*Universidad de San Buenaventura**Cali, Colombia*

Resumen

En este artículo se presenta el análisis de los atributos del rostro más representativos como lo son los ojos, cejas y boca, utilizados para expresar los estados emocionales de alegría, disgusto y neutro en los niños, con el fin de construir una base de datos que contenga las características halladas en cada emoción, para entrenar y evaluar los algoritmos, como Eigenfaces y Fisherfaces, donde a partir de unos criterios de selección se determine el algoritmo óptimo para ser implementado en un sistema de reconocimiento de emociones, denominado Emotion Experience, que sirva de apoyo en la evaluación de la experiencia de usuario en niños.

Palabras clave: facial recognition, user experience in children, image preprocessing, eigenfaces, fisherfaces.

Introducción

El reconocimiento facial y de emociones, presente en el ser humano desde el momento de su nacimiento, se lleva a cabo a través de las células nerviosas del cerebro, encargadas de realizar el proceso de identificación de un individuo a través del rostro [1], lo que permite establecer un estado de ánimo a partir de los rasgos faciales evidenciados y reconocidos. Estas emociones son aprendidas y así mismo representadas partiendo de variables sociales, culturales, capacidades cognitivas y nivel de aprendizaje de la persona.

A pesar de que existen diversas emociones que son representadas a través de la expresión facial y corporal, los estudios e investigaciones le han dado mayor importancia a lo que una persona puede llegar a expresar a través del rostro, ya que la expresión facial tiene una relación clave con el sentimiento [2].

Debido a las numerosas emociones que pueden ser representadas a través del rostro, para un sistema informático puede tornarse confusa la identificación de una emoción, si éste no ha recibido previamente un entrenamiento que cubra todas las posibilidades a reconocer. Por esta razón es importante encerrar las emociones destinadas a ser clasificadas y las variaciones que puedan llegar a presentar. Para esta investigación se han estudiado las emociones universales; tristeza, felicidad, miedo, ira, desagrado, desprecio y sorpresa [3]. Inicialmente se decidió trabajar solo con tres de ellas: alegría, disgusto y estado neutro.

Las emociones han permitido mejorar las investigaciones en la experiencia de usuario (en inglés *User eXperience* o UX, como se referirá en adelante), y de igual manera han incrementado el interés en la creación y entrenamiento de programas que tengan la capacidad de reconocer emociones, debido al potencial hallado, ya que a través de la evaluación UX por medio de las emociones, se puede identificar y conocer las necesidades reales del individuo y su nivel de satisfacción con un producto [4].

Un sistema antes de llevar a cabo el reconocimiento de una emoción debe tener la capacidad de capturar e identificar previamente una expresión facial a través de una imagen, para ser clasificada y comparada con unos datos de entrenamiento. Debido a que los algoritmos *Eigenfaces* y *Fisherfaces* presentan un alto grado de reconocimiento facial y veracidad en los resultados [5], han sido seleccionados y analizados para ser implementados en la herramienta de captura de emociones para el apoyo a la evaluación UX por medio de una cámara web.

En la sección 2 se realiza un breve análisis de las emociones en los niños, posteriormente, en la sección 3 se realiza una evaluación de las dos técnicas de

reconocimiento facial seleccionadas Eigenfaces y Fisherfaces, para finalmente, presentar las conclusiones y trabajo futuro.

Análisis de las emociones

Una persona expresa y transmite sus emociones a partir de diversas variables basadas en su experiencia personal, lo aprendido y su formación cultural y social, ya que las emociones son dependientes del entorno y están ligadas a la edad. Así pues, a menor edad, mayor es su limitación con respecto a la expresión facial; esto se puede observar en niños con menos de un mes de nacidos, ya que ellos utilizan el llanto como medio de expresión ante numerosas situaciones y estados emocionales. Sin embargo, para un niño de 4 meses en adelante es posible responder a diferentes estímulos o situaciones por medio de acciones, posturas y rasgos faciales característicos y relacionados con alguna emoción [3].

La autonomía en la identificación y expresión de las emociones se hace evidente a los 5 años de edad, debido a que es posible que el individuo se encuentre en capacidad de filtrar emociones. Sin embargo, la emoción de tristeza e ira son confundidas con facilidad, ya que tienen un alto grado de similitud en las características faciales [6]. Aunque la postura corporal es un factor clave en la representación de las emociones, aún no se le ha dado la suficiente importancia en las investigaciones relacionadas con el reconocimiento de emociones debido a que el 95 % de las personas utilizan las expresiones faciales para transmitir sus emociones, mientras que solo el 5 % restante expresan sus emociones por medio de rasgos corporales [2].

Debido a que el rostro es el mayor transmisor de emociones, un sistema informático de reconocimiento, debe examinar previamente un rostro para realizar la identificación de una emoción basado en las expresiones faciales, acción que puede desarrollarse bajo el enfoque de *identificación facial en rasgos*, mejor conocida como *geométrico*, siendo el más intuitivo ya que se basa en el ángulo y posición de cada uno de los atributos que conforman el rostro (ojos, boca, nariz, cejas) y en lo visual, conocido también como *fotométrico*, el cual se fundamenta en la iluminación e información general de la cara [7].

Teniendo en cuenta que el sistema de evaluación de UX está enfocado en los niños, es importante identificar cada uno de los rasgos y las características faciales utilizadas al momento de expresar una emoción, por esta razón fue importante realizar el estudio con niños, que trae consigo la posibilidad, en un futuro, de establecer los requisitos técnicos con los que debe contar el sistema para identificar y clasificar emociones, y arrojar resultados respecto a dicha valoración.

Para realizar el análisis de las emociones, se seleccionaron 22 niños de entre 5 a 9 años de edad, que cursaran transición, primero o segundo de primaria del colegio Liceo San José en Cali, Colombia. El objetivo del análisis se centró en estudiar los rasgos faciales y extraer las características más representativas de cada emoción, con el propósito de construir una base de datos y llevar a cabo el entrenamiento de los algoritmos. La captura de las emociones de cada niño, se realizó por medio de grabaciones mientras interactuaban frente al ordenador y realizaban actividades, como ver el fragmento de una película o jugar un videojuego.

Los fragmentos de vídeo que vieron los niños correspondieron a las películas el Rey León, Buscando a Nemo, Toy Story y el cortometraje Steadfast Stanley. También interactuaron con el videojuego llamado Mario Kart, tiene componentes visualmente llamativos, sus mecánicas son fáciles de aprender, y ofrece la posibilidad de varios jugadores al tiempo.

Las muestras seleccionadas presentaban menos estados emocionales, con el propósito de extraer y analizar las micro expresiones, ya que para prevenir un sistema susceptible a errores en la identificación de emociones, se debe realizar un estudio de éstas, debido a que las micro expresiones permiten identificar las acciones involuntarias de los músculos faciales respecto a las situaciones que puedan provocar estados de ánimo basados en las siete emociones universales, puesto que no se pueden ocultar, ello ayudará al sistema a ser menos vulnerable a engaños [8]. Las emociones claramente identificadas alegría, disgusto y estado neutro, permitieron establecer los criterios de entrenamiento de la herramienta, a partir de los rasgos y características estándar utilizadas para expresar cada una de las emociones universales.

Aunque se consideró descartar a los niños con menos expresividad, se observó que éstos presentaron micro expresiones en fragmentos de tiempo muy cortos, por lo que se establecieron posibles causas que ocasionaron que los niños, en especial los de cinco años quisieran ocultar sus emociones, mostrando la mayor parte del tiempo índices del estado neutro o ausencia de emociones. A continuación, se despliegan un conjunto de observaciones obtenidas:

- Los niños de cinco años son muy tímidos, se cohiben en sus expresiones y más aún cuando hay una persona que consideran autoridad.
- El videojuego Mario Kart se jugó en parejas, ello generó una competencia entre los niños, y una mayor concentración durante la realización de la actividad, provocando poca producción de emociones relevantes.
- Los fragmentos de películas que se presentaron fueron de género infantil. Sin embargo, muchos de los fragmentos no fueron comprensibles para ellos, por lo que no produjeron emociones considerables.

- Los niños, al darse cuenta de que estaban siendo grabados, se sintieron cohibidos en sus expresiones faciales, lo que originó que el estado neutro fuese de mayor predominancia sobre las otras emociones (alegría y disgusto).
- Los niños relacionaron la actividad con algo calificable, así que se concentraron más en hacer bien las actividades propuestas para el análisis de las emociones, considerando que perder en el videojuego era sinónimo de una mala calificación.

Las emociones pueden ser positivas o negativas, y se encuentran relacionadas con el entorno, acciones y decisiones del individuo. Las positivas son consideradas como *emociones agradables*, y ocurren cuando una persona cumple un objetivo o una necesidad, o simplemente se recupera de una emoción “negativa” presenciada [9]. También las emociones alegría y sorpresa son consideradas como emociones positivas.

Por otro lado, las negativas son contrarias a las positivas, por lo que se consideran *no placenteras e indeseadas*. Éstas se asocian a situaciones de peligro, traumas y dolor físico [9]. Entre ellas se destacan tristeza, miedo, ira, desagrado y desprecio.

A través del análisis y estudio de las emociones evidenciadas en la prueba, se establecieron los atributos claves para expresar emociones, los cuales serían utilizados en el entrenamiento del sistema. Los atributos del rostro que mejor representan las emociones de alegría y disgusto son los ojos, cejas y boca, considerando la posición de la cabeza para el caso del *disgusto*.

Las características que más se destacan son: cejas, ojos y boca (Fig. 1). Se observó que influyen de manera significativa en la expresión facial de las emociones. Estas características permitirán tener en cuenta los elementos necesarios para clasificar una respectiva emoción.

La Fig. 1 muestra las características más relevantes para expresar una emoción usando los rasgos faciales que representan alegría (Fig. 1a), neutro (Fig. 1b) y disgusto (Fig. 1c). Las micro expresiones se relacionan con la presencia de emociones básicas, que no se perciben a simple vista por el ojo humano, lo que requiere de ciertas técnicas como ubicación de marcadores o puntos clave en los atributos considerados trascendentales. Esto se logra a través de un canon de porciones en donde, por medio de la morfología del rostro humano, se establecen los puntos vitales para la expresión de emociones [10], determinando las características de los atributos para manifestar micro expresiones de las emociones universales.

Fig. 1
Características más relevantes para clasificar las emociones de alegría, disgusto y neutro



Se considera que la causa principal de las microexpresiones es la supresión de los sentimientos y emociones [11], donde se emplean características mínimas para expresar la emoción. En la Fig. 2 se muestra cada una de las emociones universales y los puntos vitales para la identificación de micro expresiones.

Fig. 2
Micro expresiones basadas en las emociones universales, definidas por [12]



Las características para representar una emoción por cada niño son analizadas de manera detallada, tomando en cuenta las teorías propuestas por [8], en el que se establecen las variables *posición* y *ángulo* como atributos para identificar si determinada expresión corresponde a alegría, disgusto o si es neutra.

Análisis de las técnicas de reconocimiento facial

Para que un sistema lleve a cabo el proceso de reconocimiento facial y de emociones, éste debe realizar una serie de pasos iniciales, los cuales se basan en la adquisición de datos, detección del rostro, pre-procesamiento, extracción de características y clasificación, esto puede observarse a través de la Fig. 3.

Figura 3

Pasos realizados por un sistema de reconocimiento facial y de emociones



La adquisición consiste en la manera en que se capturan los datos, ya sea a través de un vídeo en tiempo real, o suministrando el dato de entrada por medio de algún comando específico al sistema, para luego detectar el rostro identificado en la imagen, la cual es sometida a un pre-procesamiento para transformar las dimensiones y formato de color original, y así disminuir la carga computacional, eliminando cálculos innecesarios. Seguidamente se realiza la extracción de características donde se resaltan los atributos claves para la identificación de emociones (ojos, boca, cejas, nariz). Luego se clasifica el rostro a través de la comparación de imágenes con las existentes en la base de datos para proporcionar el resultado final.

Para este trabajo se han seleccionado las técnicas de reconocimiento Eingefaces y Fisherfaces, que tienen como objetivo clasificar datos de las características faciales. Ambas técnicas toman como referencia el funcionamiento del cerebro en la identificación de rostros, reconociendo los aspectos más relevantes para representar una emoción.

Eingefaces, basada en el análisis de los componentes principales (en adelante PCA, por sus siglas en inglés), toma las características de las imágenes de los rostros a lo que se le conoce como Eigenfaces, y proyecta la imagen de entrada, que es considerada como un subespacio vectorial, con las muestras de entrenamiento. Ésta técnica lleva la comparación a través de las características extraídas por medio de los atributos de definidos: ojos, cejas, nariz, boca [13].

La técnica Fisherface extrae patrones útiles, maximizando la varianza total de los datos. Este algoritmo hace uso del análisis discriminante lineal (en adelante LDA, por sus siglas en inglés), reduciendo la dimensionalidad de la imagen y encontrando la mejor combinación de características que permita llevar a cabo el reconocimiento [7].

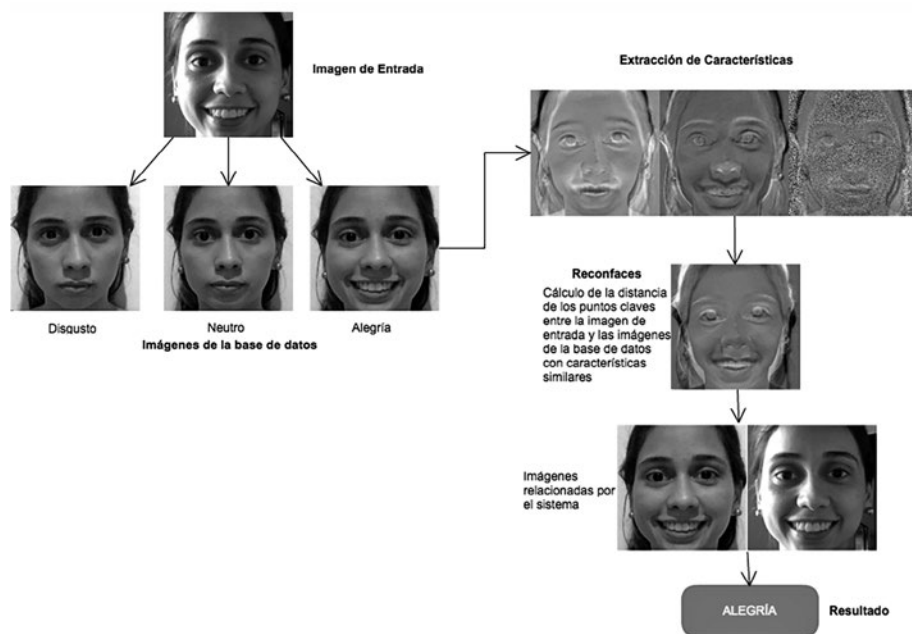
La selección de la técnica más adecuada, implica el establecimiento de unos criterios basados en la eficiencia y eficacia, los cuales corresponden –respectivamente- a la tasa de reconocimiento, velocidad de procesamiento, capacidad de aprendizaje y tasa de error [14]. La tasa de reconocimiento se relaciona con la eficacia, y la capacidad de aprendizaje está asociada con la eficiencia.

Para la evaluación con cada una de las técnicas, se desarrolla un script en Matlab, que realiza el proceso de reconocimiento e identificación de emociones a través de tres bases de datos creadas desde cero, que contienen principalmente rostros de niños. Cada base de datos alberga información de cada una de las clases de emociones (alegría, disgusto y neutro), una de ellas contiene 150 imágenes de rostros de niños con las tres emociones. Las bases de datos varían en el número de imágenes que la conforman, y la manera en que están distribuidas o estructuradas; es decir, las imágenes pueden estar almacenadas en un solo directorio con diferentes nomenclaturas o almacenadas en un directorio según el tipo de emoción.

Cada algoritmo Eigenfaces y Fisherfaces; captura la información relevante, para luego aplicar las técnicas de PCA o LDA y encontrar el vecino más cercano a través de las imágenes de muestra proyectadas con la imagen de entrada (ver Fig. 4).

Fig. 4

Proceso interno de reconocimiento de emociones llevado a cabo por la técnica Eigenfaces



A través del estudio de los algoritmos es posible identificar si la velocidad de procesamiento influye en la calidad de los resultados, al igual que el tipo de dato de entrada e imágenes de entrenamiento. Se realizaron tres experimentos que miden la calidad de los algoritmos y cuentan con las siguientes características, resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1
Experimentos que permiten evaluar los algoritmos Eigenfaces y Fisherfaces, para identificar si cumplen con los criterios de evaluación planteados

Experi- mento	Número de imágenes por individuo	Número Individuos	Dimen- sión imagen	Modo color	Formato imagen	Total imá- genes DB	Núme- ro de imágenes entrada
1	6	1	125x125	Escala grises	PNG	6	4
2	53	9	180x200	RGB	PNG	477	20
3	3	50	125x125	Escala grises	PNG	20	4

Las imágenes capturadas de la base de datos se relacionan con cada una de las emociones de los niños. Estos datos corresponden a información de entrenamiento. Las imágenes utilizadas como datos de entrada deben someterse previamente a un tratamiento conocido como pre-procesamiento, para ser normalizadas y estandarizadas. Los pasos realizados en la fase de pre-procesamiento se describen a continuación [15].

- Discriminación de información irrelevante y extracción de las características principales.
- Normalización del tamaño de las imágenes con el fin de que todos los rostros sean de tamaño similar.
- Aplicación de un método de filtrado, conversión de formato de color RGB a escala de grises.

Luego de llevar a cabo el pre-procesamiento de las imágenes que serán utilizadas para evaluar las técnicas, se ejecutan los algoritmos Eigenfaces y Fisherfaces a través de un *script* de Matlab lo que proporciona los resultados de la Tabla 2.

Con base en los resultados obtenidos, es posible determinar que el algoritmo de reconocimiento facial Eigenfaces es más adecuado para la identificación de los rostros, puesto que posee una curva de aprendizaje menor, y su tasa de reconocimiento y coincidencia en la clasificación de rostros es mayor, si se compara con los resultados del algoritmo Fisherfaces.

Tabla 2

Resultados tomados de los criterios de selección usando las técnicas de reconocimiento facial eigenfaces y fisherfaces

Técnica	Experimento	Tiempo ejecución	Tasa error	Distancia Euclidiana
Fisherfaces	1	1.29 (seg)	33.3%	6.7077
Eigenfaces	1	2.81 (seg)	0%	0.9920
Fisherfaces	2	9.50 (seg)	60%	2.1893
Eigenfaces	2	70.54 (seg)	5%	0.9081
Fisherfaces	3	1.34 (seg)	58.3%	21.8671
Eigenfaces	3	52.30 (seg)	2.7%	0.9903

Por su parte, los resultados proporcionados por el algoritmo Fisherfaces demuestran un menor coste computacional. Sin embargo, presenta mayor susceptibilidad a fallas y a resultados erróneos con relación a la comparación de rostros. La inestabilidad de cada algoritmo puede evidenciarse en la columna *Distancia Euclidiana*, la cual se relaciona con el grado de coincidencia o distancia entre cada punto clave representativo de una emoción. Lo anterior determina que los requisitos técnicos de la herramienta se basan en la identificación y análisis de las emociones capturadas a través de la imagen de un rostro con una mínima tasa de error.

Conclusiones

A partir de los análisis y resultados obtenidos a través de las pruebas para identificar emociones y evaluar los algoritmos, es posible concluir que el algoritmo que mejor se ajusta a los requisitos de la herramienta, es la técnica Eigenfaces, ya que al evaluar los criterios de selección, obtuvo mejores resultados en cuanto a la eficacia y la eficiencia. Además, tiene menor valor en la media calculada de la tasa de error del 2.7 %, comparado con el 50.7 % de la técnica Fisherfaces. Esta herramienta podría servir de apoyo para evaluar la experiencia del niño en el uso de un producto interactivo.

Trabajo futuro

Se debe evaluar el sistema de reconocimiento de emociones que se propone para dar apoyo a la evaluación de UX en situaciones reales que permitan identificar sus posibles beneficios. Además, se hace necesario comprobar los resultados

obtenidos a partir de la evaluación de los criterios de selección de la técnica implementada en el sistema de reconocimiento de emociones Emotion Experience.

Se propone además implementar la captura de voz y frecuencia cardíaca utilizando sensores biométricos que permitan identificar y reconocer emociones a partir de otras variables relacionadas con lo corporal, para incrementar la eficacia y disminuir la susceptibilidad a engaños, incluyendo de igual manera la evaluación de las micro expresiones basadas en las emociones universales y el reconocimiento de éstas empleando la herramienta.

Referencias

- [1] Matthew Turk y Alex Pentland, "Eigenfaces for Recognition," *Journal of cognitive neuroscience*, vol. 3, pp. 71-86, 1991.
- [2] Gordillo and Mestas and Salvador and Pérez and M. Arana and López, "Diferencias en el Reconocimiento de las Emociones en Niños de 6 a 11 Años," *Acta de Investigación Psicológica*, pp. 1846-1859, (2015).
- [3] Paul Ekman and Harriet Oster, *Expresiones faciales de la Emoción*, 1979, pp.527 – 554.
- [4] Yusef Hassan Montero and Francisco J Martín Fernández. (2017 marzo 30) "La experiencia del usuario, no solo usabilidad", *Revista sobre personas, diseño y tecnología* [en línea]. Disponible en: [http://www.nosolousabilidad.com/articulos/experiencia del usuario.htm](http://www.nosolousabilidad.com/articulos/experiencia%20del%20usuario.htm), última visita.
- [5] Peter N. Belhumeur and Joao P. Hespanha and David J. Kriegman. "Eigenfaces vs. Fisherfaces: recognition Using Class Specific Linear Projection," *IEEE, Transactions on Pattern analysis and machine intelligence*, vol. 19, pp.711 - 720, (1997).
- [6] Dayessi Riverón Nápoles, Elizabeth Vizcaino Arbolaez, and Yunier Broche Pérez, *Análisis de la capacidad de reconocimiento facial de emociones en jóvenes universitarios*, 2011, pp. 1-21.
- [7] OpenCV. (s.f) *Documentation Face recognition with opencv* [en línea]. Disponible: http://docs.opencv.org/trunk/da/d60/tutorial_face_main.html
- [8] Paul Ekman.: Darwin. (2004) *Deception, and Facial Expression*, *Department of Psychiatry*, University of California, pp. 205- 221.
- [9] Gómez Castaño. Daniel Alejandro, "El Ritmo de tu Cabeza Diferencia en la Toma de Decisiones en Situación de Riesgo, Bajo el Influjo de Valencias Económicas Positivas y Negativas Inducidas por Medio de la Música", Universidad de Antioquia, Medellín, 2016.

- [10] C. González Restrepo, S. Rincón Montoya, O. L. Quintero Montoya, R. Restrepo Gómez, “Metodología para Detección de Características Faciales con Fines de Reconocimiento de Emociones,” Dept., Escuela de Ciencias y Humanidades, Universidad EAFIT, Medellín, 2014.
- [11] Paul Ekman. “Lie catching and microexpressions,” en *The Philosophy of Deception*, 2009, pp. 118 – 135.
- [12] Paul Ekman Group. (s.f) *Lie To Me* [en línea]. Disponible en: <http://www.paulekman.com/lie-to-me/>
- [13] Marcelo J. Armengot Iborra. “Análisis comparativo de métodos basados en subespacios aplicados al reconocimiento de caras”, Universitat de Valencia, España, 2006.
- [14] E. Gutiérrez Beltrán, y L. Duque Hoyos, “Emotion Experience: Una herramienta para medir la experiencia de usuario en niños a través de las emociones,” Dept. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura Cali, 2017.
- [15] Jorge Rafael Valvert Gamboa “Métodos y técnicas de reconocimiento de rostros en imágenes digitales bidimensionales”, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2006.

(SUBMISSION 157)

Análisis del impacto de la herramienta GPCA en el desarrollo de sitios web accesibles

JOSÉ ALBEIRO MONTES GIL
SANTIAGO AGUIRRE GÁLVEZ
DIEGO FELIPE GALLEGU RÍOS,
LUIS FELIPE LONDOÑO ROJAS
VALENTINA TABARES MORALES
Universidad Nacional de Colombia
Manizales, Colombia

Resumen

Hoy en día la incorporación de características de accesibilidad es fundamental para promover una web más inclusiva. Por lo tanto, la comprensión y aplicación de pautas de accesibilidad por parte de los desarrolladores es de gran importancia, pero se requiere de iniciativas que faciliten este proceso. En este artículo se presenta una propuesta de validación de la herramienta Guías Prácticas de Código Accesible (en adelante GPCA) y el análisis de su impacto en el desarrollo de sitios web que incorporen características adecuadas para atender usuarios con diferentes condiciones. Se realiza el proceso de desarrollo de dos sitios web, en el primer sitio no fueron tenidos en cuenta lineamientos de accesibilidad, mientras que en el segundo se siguieron las guías presentadas en la herramienta GPCA, con el fin de demostrar por medio de un análisis de casos, que la herramienta GPCA contribuye a la mejora en la construcción de sitios web accesibles.

Palabras clave: accesibilidad web, desarrollo accesible, guías prácticas, pautas de accesibilidad.

Introducción

Con los desarrollos tecnológicos de los últimos años, cada vez se hace más necesario que todas las personas puedan acceder a ellos, especialmente a los contenidos y servicios disponibles a través de la web. Sin embargo, no todos cuentan con las mismas condiciones físicas y cognitivas, por lo que tienen que enfrentarse a un gran número de barreras a la hora de acceder a un sitio web, y teniendo en cuenta que en la ISO/TC 16027, se define la *accesibilidad* como la facilidad de uso, de forma eficiente, eficaz y agradable, de un producto, servicio, objeto o instrumento por personas que poseen diferentes capacidades. Ante esto surge la *accesibilidad web*, cuyo objetivo es la incorporación de características que permitan la eliminación de esas barreras, ofreciendo un mejor acceso, independiente de las características, conocimientos o recursos tecnológicos con los que cuente un usuario [1].

Ante esta situación se han propuesto a través de diferentes iniciativas, pautas y guías que indican los elementos que deberían tenerse en cuenta para el desarrollo de un sitio web accesible. Si bien, esto ha sido un aporte significativo en cuanto a esta problemática, se siguen encontrando numerosos sitios web poco accesibles [2], lo que se considera, se debe en parte a que algunos desarrolladores no tienen conocimiento sobre la existencia de las normas, los estándares y las pautas de accesibilidad, o su interpretación e implementación tiene un alto nivel de complejidad, lo cual repercute en la creación de sitios que pueden generar problemas para que algunas personas accedan a sus contenidos.

Como respuesta a esta situación, se han desarrollado guías prácticas que buscan facilitar a los desarrolladores la adquisición de conocimientos sobre las pautas de accesibilidad para el desarrollo web, tales como [3]–[7]. La herramienta GPCA es uno de estos trabajos de apoyo para los desarrolladores web, ya que contiene una serie de guías de desarrollo accesible, que son presentadas en un lenguaje sencillo y con ejemplos prácticos que facilitan su aplicación [8], [9]. Sin embargo, esta herramienta no registra hasta ahora ningún tipo de validación, razón por la que en este trabajo se presenta un caso de estudio donde un grupo de estudiantes universitarios desarrollaron dos sitios web; el primero usando sus conocimientos de desarrollo web, pero sin tener conocimientos sobre las características de accesibilidad, y el otro poniendo en práctica las guías propuestas en la herramienta GPCA. Los resultados muestran que el seguimiento de las guías presentadas en la herramienta GPCA, influye en el nivel de accesibilidad observado en el segundo sitio web, disminuyendo la cantidad de errores o barreras de acceso encontradas.

En la Sección 2 de este artículo se presentan algunos conceptos básicos relacionados con la temática abordada, mientras que en la sección 3 son discutidos algunos trabajos que se relacionan con la propuesta. En la sección 4 se explica en detalle cómo fue realizado el proceso de validación de la herramienta GPCA y en la Sección 5 se muestran los resultados obtenidos. Finalmente se presentan conclusiones y algunos trabajos futuros.

Conceptos relacionados

A continuación se presentan algunos conceptos claves para el desarrollo de este trabajo:

Accesibilidad

Consiste en un conjunto de características que deben estar presentes en cualquier servicio, producto o contenido para que éste pueda ser usado por cualquier persona independientemente de sus capacidades. Sin embargo en ocasiones estas características no son percibidas por las personas, por lo que no se valora la importancia de la accesibilidad como se debería [1], [10].

Accesibilidad web

La accesibilidad web consiste en el acceso universal a la web, lo cual indica que independientemente de las capacidades de los usuarios, estos deben poder acceder a los contenidos ofrecidos en la web [1].

Normas, pautas, guías e iniciativas de accesibilidad web

- WCAG 2.0: se creó en el año 2008 con el objetivo de mejorar la accesibilidad de los sitios web, para que un mayor número de personas fueran incluidas en la web. La WCAG maneja tres niveles de clasificación de accesibilidad de sitios web A, AA y AAA siendo A el nivel más bajo es decir un sitio que cumple con pocas características de accesibilidad, y AAA el nivel más alto lo cual indica que es un sitio que cumple correctamente con las pautas de la WCAG [1], [10].
- Section 508: proporcionó la primera Ley Federal de accesibilidad para internet de los Estados Unidos, esta contempla la inclusión de las personas con discapacidades, y también los costos para llegar a hacerlo [11].
- UAAG: definen la accesibilidad en los agentes de usuario, ya que en la mayoría de los casos, cuando se requieren opciones como agrandar texto, cambio de colores o de interfaz, es preferible tenerlas desde el mismo navegador que desde el contenido web [12].

- WAI (*Web Accessibility Initiative*): es una iniciativa para el desarrollo accesible creada por la W3C (World Wide Web Consortium), para que los sitios web puedan ser accedidos por cualquier persona sin importar sus condiciones [13].
- WAI-ARIA: define una serie de criterios para la creación de sitios web, con el propósito de que cualquier persona pueda acceder a ellos sin problemas, además recomienda el uso correcto de las etiquetas de los lenguajes HTML y XHTML para mejorar la accesibilidad de los sitios web [13].

Evaluación de accesibilidad

Es entendida como el análisis de los sitios web, con el fin de validar su cumplimiento de las pautas y normas de accesibilidad web. La evaluación de accesibilidad de un sitio web puede realizarse de dos formas; la primera por medio de una evaluación automática de accesibilidad, en la cual se usan herramientas de validación, que por lo general se encuentran disponibles en la web; y la segunda forma por medio de una evaluación manual, la cual es realizada por una persona experta o por un grupo específico de usuarios [14] – [21].

Trabajos relacionados

En esta sección se presentan algunos artículos relacionados con este trabajo y que han servido como guía para la propuesta:

Los trabajos que dan paso al presente artículo son [8] y [9] en los cuales se presenta y explica detalladamente cada una de las guías para el desarrollo accesible que son presentadas en la herramienta GPCA, además también se explica cómo esta puede ser la herramienta utilizada y los beneficios que puede generar para mejorar la accesibilidad de los sitios web desde las primeras etapas de desarrollo.

En [2] se realizó la evaluación de accesibilidad de veinte sitios web del Gobierno de Colombia, con el propósito de identificar su nivel de accesibilidad. El tipo de evaluación que se hizo en este trabajo fue la *evaluación automática de accesibilidad*, para la cual se utilizó el validador Hera, cuyo proceso arrojó como resultado que de estos veinte sitios web, solo cuatro cumplían con un nivel superior al 50 %.

En trabajos como [22] se propone una herramienta de evaluación de accesibilidad que, a diferencia de las existentes, donde se evalúan las pautas de accesibilidad como la WCAG y Section 508, esta valora la iniciativa de desarrollo accesible WAI-ARIA. Para validar esta herramienta se realizaron pruebas con dos escenarios diferentes, donde se evidenció la importancia de la evaluación

de la WAI-ARIA, para obtener un análisis más detallado de accesibilidad de un sitio web.

Un artículo de especial interés para este trabajo es [23]; una investigación en la cual se analizó si en las diferentes etapas del desarrollo de sitios web, era posible por medio de herramientas de *evaluación automática de accesibilidad existentes*, mejorar la accesibilidad. Para hacer esto se llevó a cabo un estudio donde se probó resolver algunas dificultades de accesibilidad en las primeras fases de desarrollo por medio de evaluaciones tempranas de accesibilidad. Los resultados de este trabajo se muestran a través de un cuadro comparativo entre un sitio desarrollado de forma normal y otro desarrollado aplicando las evaluaciones tempranas de accesibilidad.

Otro trabajo importante para este artículo es [24] donde se realiza un análisis de ACE; una herramienta para mejorar la accesibilidad de un sitio web respecto a sus colores. Para validar esta herramienta, se efectuaron una serie de prototipos con la herramienta y después fueron evaluados por desarrolladores y diseñadores, adicional a ello se elaboró un análisis comparativo entre sitios desarrollados con ACE y sitio desarrollados usando otras herramientas de paletas de color.

Propuesta para validación de la herramienta GPCA

La herramienta GPCA fue desarrollada con el fin de apoyar a los desarrolladores web en la incorporación de características de accesibilidad. Esta reúne 18 guías para el desarrollo accesible, clasificadas en siete categorías, que son presentadas de forma sencilla y con ejemplos prácticos que facilitan su aplicación [8].

Las guías de accesibilidad disponibles a través de GPCA fueron creadas con el fin de ayudar, informar y concientizar a los desarrolladores y estudiantes de programación web, en la creación de contenidos accesibles, ya que generalmente los desarrolladores y estudiantes desconocen las pautas de accesibilidad existentes y en caso de conocerlas, dada su presentación se hace complejo la aplicación de éstas [9].

Para llevar a cabo la validación de las guías prácticas de accesibilidad de la herramienta GPCA, se propuso la realización de un caso de estudio donde un grupo de estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia debían crear un sitio web A, que cumpliera con cada uno de los requerimientos que se muestran en la Fig 1, para lo cual, podían hacer uso de materiales de apoyo como cursos y guías de programación web.

Los estudiantes que participaron en este caso de estudio se encuentran entre 4 y 6 semestre de la carrera Administración de Sistemas Informáticos, con una edad entre los 19 y 23 años, quienes tienen conocimientos básicos de desarrollo web, pero no conocimientos sobre accesibilidad web.

Fig. 1
Requerimientos del sitio web

The mockup shows a web page with the following elements:

- Page 1** (tab title)
- Address bar: <https://semillero.gaia>
- Logo** (person icon)
- Menú desplegable** (dropdown menu):
 - Item 1
 - Item 2
 - Item 3
 - Item 4
- Title** and **Heading** section with placeholder text: "Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua."
- Buttons**: Button 1, Button 2, Button 3, Button 4
- Search** bar with a magnifying glass icon
- Table** with 3 columns (Title 1, Title 2, Title 3) and 5 rows of values:

Title 1	Title 2	Title 3
Value 1	Value 2	Value 3
Value 4	Value 5	Value 6
Value 7	Value 8	Value 9
Value 10	Value 11	Value 12
- Enlace otra aplicación** (link)
- Sign In** section:
 - User Name:
 - Password:
 - SIGN IN** button
 - [Forgot Password?](#)
- New User** section:
 - SIGN UP** button

Una vez terminado el desarrollo del sitio web A, se procedió a realizar evaluación de accesibilidad utilizando dos validadores automáticos. A partir de estas validaciones y sus resultados, se dio a conocer al grupo de desarrolladores los conceptos básicos de accesibilidad, se concientizó acerca de su importancia y se les presentó la herramienta GPCA, sin embargo en ningún momento se les explico cómo podrían hacer uso de esta.

Como siguiente etapa en el proceso de validación, se solicitó al grupo de estudiantes crear un sitio web B con los mismos requerimientos, pero esta vez usando como herramienta de apoyo las guías prácticas de la herramienta GPCA, con el fin de determinar si se facilitaba realmente el seguimiento a estas guías, y si era posible obtener un nuevo sitio con mejores características en cuenta a su accesibilidad.

Completado el desarrollo de este nuevo sitio B, se efectuó la respectiva evaluación de accesibilidad. Ya con los datos obtenidos de las evaluaciones de accesibilidad de los sitios A y B, se hizo un análisis comparativo para observar si el sitio web B es más accesible que el sitio web A.

Resultados

Como se mencionó en la sección 4, fueron desarrollados dos sitios web; uno con estudiantes que no tenían conocimientos previos ni herramientas de apoyo

sobre características de accesibilidad web, por lo cual para llevar a cabo este sitio se apoyaron solo en tutoriales de desarrollo web encontrados en internet, sin tener en cuenta la accesibilidad; otro con estudiantes a los que se les entregó la herramienta GPCA. Una vez finalizado el desarrollo del sitio web A, se seleccionaron los validadores automáticos de accesibilidad TAW y WAVE, dado que ambos verifican el cumplimiento de las WCAG 2.0, sin embargo cada uno evalúa diferentes características de accesibilidad. En las tablas 1 y 2, se relacionan los resultados de las evaluaciones con los validadores TAW y WAVE, realizados a los sitios A y B:

Tabla 1
Resultados validador TAW

	Evaluación del sitio A con TAW	Evaluación del sitio B con TAW	Relación: Mejora de accesibilidad sitio B con respecto al A
Problemas	46	24	48 %
Advertencias	44	32	27 %
No verificados	17	17	0 %

En la Tabla 1, la accesibilidad del sitio B es considerablemente más alta que el sitio A, ya que cuenta con un 48 % menos de problemas y un 27 % menos de advertencias, lo cual implica que disminuye la probabilidad de que una persona pueda encontrar una barrera que no le permita acceder al contenido del sitio B.

Tabla 2
Resultados validador Wave

	Evaluación del sitio A con WAVE	Evaluación del sitio B con WAVE	Relación: Mejora de accesibilidad sitio B con respecto al A
Errores	8	5	38 %
Alertas	3	3	0 %
Características	1	1	0 %
Elementos estructurales	32	22	31 %
HTML5 Y ARIA	0	14	No Aplica
Errores de contraste	0	0	0 %

Al igual que en la Tabla 1, en la Tabla 2 también se evidencia que el sitio B es más accesible que el sitio A, ya que tiene un 38 % menos de errores. También de debe tener en cuenta que aunque el criterio de HTML5 y ARIA no aplica,

este directamente es muy importante para el análisis, dado que ARIA es la forma en la que HTML garantiza accesibilidad lo cual da un valor agregado al sitio B.

Finalizadas las evaluaciones de accesibilidad, se preguntó a algunos de los estudiantes su percepción sobre la herramienta GPCA, obteniendo los comentarios que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Opinión de algunos estudiantes sobre la herramienta GPCA

Estudiante	Comentario
Estudiante 1	“La herramienta GPCA ayudó a crear un sitio web más accesible, ya que las guías son claras y concisas como para implementar correctamente las pautas de accesibilidad. Es de fácil implementación para desarrolladores que no son expertos en accesibilidad”.
Estudiante 2	“La herramienta me pareció bien estructurada, de fácil entendimiento y abarca muchos temas que no conocía, a pesar de que solo se cambia un poco el código, mediante las herramientas de evaluación de accesibilidad se nota mucho el cambio a la hora de los resultados. Si una persona no está capacitada en la accesibilidad de ningún tipo, podría entender y seguir estas guías sin ningún tipo de problema”.
Estudiante 3	“Es una guía muy práctica, ya que contiene los pasos detallados en cuanto lo que hay que modificar al código y cómo hacer dichas modificaciones. Al seguir estos pasos, se generan pequeñas modificaciones a simple vista, pero que mejora notablemente el sitio web en cuanto a su accesibilidad”.

Conclusiones

Al aplicar las guías prácticas presentadas en la herramienta GPCA en el desarrollo de un sitio web y llevar a cabo la evaluación de accesibilidad con dos validadores automáticos, es posible concluir que existe un alto impacto respecto al nivel de accesibilidad con que cuenta el sitio web, respecto a un sitio desarrollado sin usar estas guías.

Es posible que el hecho de que los estudiantes no tuvieron una formación previa sobre la herramienta GPCA, pueda haber influido en que los porcentajes de accesibilidad del sitio B respecto al sitio A, no fueran mejores de los obtenidos, ya que en algunos casos los estudiantes no tenían el conocimiento para identificar cuál guía podría ser la más adecuada según cada elemento. A pesar de esto, la aceptación y percepción de la herramienta GPCA por parte de algunos de los

estudiantes es positiva, lo cual da paso a seguir usando esta herramienta como apoyo para la enseñanza de desarrollo accesible en cursos de programación en las universidades.

Como trabajo futuro primero se realizará la validación manual de accesibilidad web por evaluadores expertos, con el fin de obtener más información que contribuya con la validación de la herramienta GPCA y segundo se llevará a cabo un caso de estudio donde un grupo desarrolle un sitio web y otro grupo diferente desarrolle el mismo sitio usando la herramienta GPCA y al final se integraran los datos recolectados junto con los de este artículo para hacer una mejor valoración de la herramienta GPCA. Otro trabajo futuro es agregar componentes de mayor complejidad al sitio web con el fin de determinar si es necesaria la inclusión de nuevas guías a la herramienta GPCA.

Referencias

- [1] T. Acosta and S. Luján-mora, “Análisis de la accesibilidad de los sitios web de las universidades ecuatorianas de excelencia (Analysis of the accessibility in websites of Ecuadorian universities of excellence),” pp. 46–61, 2017.
- [2] J. A. Riaño and J. A. Ballesteros, “Web Accessibility: Study web accessibility in public places of the Colombian State,” in XLI Latin American Computing Conference (CLEI), 2015.
- [3] H. L. Antonelli and R. P. de M. Fortes, “A Support for Developers Implement the Accessibility Guidelines Regarding to Web Menus,” Proc. 21st Brazilian Symp. Multimed. Web - WebMedia '15, pp. 33–40, 2015.
- [4] T. J. Bittar, L. A. do Amaral, L. L. Lobato, and R. P. de M. Fortes, “Applying an approach to develop web applications considering accessibility practices using design rationale,” Commun. Comput. Inf. Sci., vol. 373, no. PART I, pp. 206–210, 2013.
- [5] R. Miñón, L. Moreno, P. Martínez, and J. Abascal, “An Approach to the Integration of Accessibility Requirements Into a User Interface Development Method,” Sci. Comput. Program., vol. 86, pp. 58–73, 2014.
- [6] R. C. De Oliveira, A. P. Freire, D. Maria, and B. Paiva, “A Framework to Facilitate the Implementation of Technical Aspects of Web Accessibility,” pp. 3–13, 2014.
- [7] T. Thompson, “Accessible Dropdown Menus Revisited.”. 2013. <http://terrillthompson.com/blog/474>

- [8] L. F. Londoño Rojas, V. Tabares Morales, M. R. Bez, and N. D. Duque Mendez, “Guías Prácticas y Herramienta para Apoyar El Desarrollo De Sitios Web Accesibles,” *Rev. ITEKNE (En Evaluación)*, 2017.
- [9] L. F. Londoño, V. Tabares, M. Bez, and N. Duque, “Análisis Comparativo de Guías para el Desarrollo Web Accesible,” *Rev. Cienc. e Ing. Neogranadina (En Evaluación)*, vol. 28, no. 1, 2017.
- [10] “WCAG 2.0,” *Web Content Access. Guidel. (WCAG 2.0)* 2008, pp. 1–24, 2013.
- [11] United States Access Board, *Section 508 Standards for Electronic and Information Technology*. United State, 2000.
- [12] W3C, “User Agent Accessibility Guidelines (UAAG).”
- [13] W3C, “WAI-ARIA Overview,” 2010.
- [14] P.-L. P. Rau, L. Zhou, N. Sun, and R. Zhong, “Evaluation of web accessibility in China: changes from 2009 to 2013,” *Univers. Access Inf. Soc.*, vol. 15, no. 2, pp. 297–303, 2016.
- [15] C. Moreta and L. Baena R., “Pautas, métodos y herramientas de evaluación de accesibilidad web,” *Univ. Manizales, Fac. Ciencias e Ing.*, pp. 99–115, 2013.
- [16] J. R. Hilera, L. Fernández, E. Suárez, and E. T. Vilar, “Evaluación de la accesibilidad de páginas web de universidades españolas y extranjeras incluidas en rankings universitarios internacionales,” *Rev. Española Doc. Científica*, vol. 36, no. 1, pp. 1–21, 2013.
- [17] E. S. Mascaraque, “Herramientas para la evaluación de la accesibilidad Web,” pp. 245–266, 2009.
- [18] F. Masri and S. L. Mora, “A Combined Agile Methodology for the Evaluation of Web Accessibility,” *IADIS Int. Conf. Interfaces Hum. Comput. Interact.*, pp. 423–428, 2011.
- [19] L. Mena Tobar, P. M. Latorre Andres, and E. Lafuente Lapena, “WebA: A tool for the assistance in design and evaluation of websites,” *J. Univers. Comput. Sci.*, vol. 14, no. 9, pp. 1496–1512, 2008.
- [20] Y. T. Yang and B. Chen, “Web Accessibility for Older Adults : A Comparative Analysis of Disability Laws,” vol. 55, no. 5, pp. 854–864, 2015.
- [21] S. Sanchez-gordon and S. Luján-mora, “How Could MOOCs Become Accessible ? The Case of edX and the Future of Inclusive Online Learning,” vol. 22, no. 1, pp. 55–81, 2016.

- [22] I. Abu, F. Alkhateeb, E. Al, and M. A. Al-betar, "Advances in Engineering Software The design of RIA accessibility evaluation tool," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 57, pp. 1–7, 2013.
- [23] J. XIONG and M. Winckler, "An investigation of tool support for accessibility assessment throughout the development process of Web sites.," *J. Web Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 281–298, 2008.
- [24] G. W. Tigwell, D. R. Flatla, and N. D. Archibald, "ACE: A Colour Palette Design Tool for Balancing Aesthetics and Accessibility," *ACM Trans. Access. Comput.*, vol. 9, no. 2, p. 5:1--5:32, 2017.

(SUBMISSION 71)

Mobile Android Apps in Ophthalmology: Systematic and Commercial Mapping

NANCY JACHO-GUANOLUISA

SANTIAGO JÁCOME-GUERRERO

JOSÉ-LUIS CARRILLO-MEDINA

ALEXANDRA CORRAL

PATRICIO ESPINEL

MAYRA SALAZAR-GRANDES

IVONE ARIAS-ALMEIDA

*Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**Sangolquí, Ecuador*

SERGIO ALBIOL-PÉREZ

*Aragon Health Research Institute (IIS Aragón)**Universidad de Zaragoza**Teruel, Spain*

CÉSAR A. COLLAZOS

*Universidad del Cauca**Popayán, Colombia*

Abstract

Mobile devices are increasingly being used among healthcare professionals and patients, allowing health care and the mHealth health concept or mobile health to become more relevant through available applications. These applications allow physicians to deepen their knowledge and help diagnose eye diseases; In the same way, it allows the patients to have the necessary information to know

the attitude to be taken in front of a diagnosis emitted. The objective of this work is to analyze the state of the art of the focused Ophthalmology applications and to categorize them. To achieve the main objective of this research work, a review of the literature and analysis of commercial android applications will be carried out. We performed a review from 2000 until 2017 in PubMed, ACM and Cochrane the electronic databases. Afterwards, Ophthalmology applications will be analyzed in the Google Play Store for Android. 15 articles were selected according to their subject (management applications, administrative support, embedded system, training applications, tests / diagnostics and integral system) of a total of 58 found in the databases mentioned above. 223 mobile applications were found in the Google Play store since 2014. It can be concluded that most of the applications focused on the Diagnosis and Tests of diseases or ophthalmological pathologies with 53 % in academic articles and 23 % in the Play Store. The main market niche of commercial applications are patients who use the applications to diagnose possible pathologies before or after seeing a doctor.

Keywords: smartphone in ophthalmology, app Android for ophthalmology, technology ophthalmic.

Introduction

The visual channel is one of the main sensory systems of the human being. Mobile devices (smartphones, tablets) have become ubiquitous [1], increasingly featuring internet connectivity, performance, photographic capacity, and storage capacity [2], [3]. These devices along with app applications have become reliable and robust systems within the health field. The number of mobile devices in the world in 2012 was 1 trillion, in 2014 it was 1.57 trillion, and in 2016 it was 2.1 trillion [4] – [6], demonstrating a significant increase in mobile devices users; Among clinical specialists the estimated 30 % in 2001 has increased to 64 % in 2009 [7], [8] and to 86 % in 2014 of those who daily use mobile devices for various purposes [6].

Mobile technology together with applications have revolutionized medical care, the availability of visual and multimedia information have enabled the training of physicians, patients and staff wishing to learn about health [1], [9]; the test simulators evaluate the knowledge acquired by medical students; Applications of diagnosis and monitoring of optical diseases, emits diagnoses [10], causes and treatments of visual diseases without physically placing the patient [11].

A number of efforts are underway to leverage the tools of mobile technology to align with urgent health priorities through a field called mHealth [12]. The

clinical specialist performs the monitoring and control of diagnoses of diseases or pathologies, medications and the patient's evolutionary process through management systems [13]. Therefore, most applications have been developed within the field of multimodal diagnosis (hospital and clinic services, self-management of disease and remote monitoring of the patient [6]). Mobile devices, when integrated with applications, have become useful ophthalmic devices for manipulating and managing anterior and posterior eye segments. These images are diagnostic inputs for the evaluation of some pathology such as visual acuity and in conjunction with other applications Allow validation of color vision, astigmatism, pupil size, Amsler grid test, etc. [9, 10]. Visual word dictionaries are applications that specify the location of lesions for the specialist to evaluate the image and issue its diagnosis [14] and increase its learning. Telehealth, which requires a collaborative work of the patient and physician, the patient must enter the data sequentially into the medical records, who will offer contextual and temporary support to facilitate well-being and reduce patient risk [15]; Perhaps the biggest benefit of mobile applications is accessibility to all the tools in the Google Play Store [16] from any mobile device or the web, which offers free or paid applications for the Android operating system, supporting Physicians make clinical decisions to issue correct and rapid diagnoses and patients to know in advance a possible ocular pathology and approach the physician for treatment[17]–[19].

Developers often upload new applications, which are unknown development process, validations and tests applied and only the assessment of positive or negative comments, the user is influenced to acquire it. For these tools to be integrated into daily medical practice, it is necessary to know the levels of quality applied in development [9]–[20] and thus to be able to choose it as an innovative role in mobile technology and its use in research and education.

The purpose of this article is to perform a quantitative review and categorize the applications (“apps”) currently available in the Android operating system related in the ophthalmological area, determine the applications according to users, and applications according to diseases or pathologies, applying the Methodology of systematic mapping [21]–[22].

Methodology

As we saw in the previous section, the use of mobile devices in the world has increased totally; the number of mobile device users is expected to grow from 1.5 billion in 2014 to around 2.5 billion in 2019. Just over 36 % of the world's population is projected to use mobile devices in 2018, compared to 10 % in 2011

[5], of which 37.5% of users in 2016 find it very interesting the use of applications related to the medical control, accordingly it is necessary to know the number of applications existing in the ophthalmological area, its characterization and the applications that give solution to the different ophthalmological pathologies.

Therefore, the methodology of this work will focus on a review of the academic literature with a systematic mapping. The results obtained will be the base of future research in the area base. The objective of a systematic mapping is: 1) to provide an overview of a research area; 2) identify the quantity and type of research; And 3) state the results available within it [21]. Navarro et al. [22] points out that in order to generate the results, one must categorize the elements found, to analyze them through their frequency within each category and in this way determine the coverage of the different areas of a specific topic.

Based on Petersen, Macchi and Luna [21]–[24], the methodological process for a systematic mapping should consider the following steps:

- Develop research questions.
- Make the literary search.
- Select studies.
- Classify articles.
- Extract and make data aggregation.

The present research work is focused on the selection of articles that satisfy our premises, for that will fulfill all the inherent stages of the process of systematic mapping, grouping the last two stages in results of the mapping.

Results

Research questions

As explained in the introductory section of this research paper, the main objective is to focus on academic literature and the state-of-the-art of ophthalmology-focused mobile applications available on Android, in addition to looking for Google Play Store business applications focused on Ophthalmology and categorize them according to the pathologies. So, the research focuses on the following questions:

- PI1. Which categories have more ophthalmological applications?
- PI2. Do doctors have a greater number of mobile ophthalmologic applications?
- PI3. What types of pathologies have been most covered by mobile applications?

To answer these research questions the following key terms are considered: Mobile applications, smartphone, Android, combining with ophthalmology, ophthalmic that allow to delimit the searches in the databases.

Literary search

According to Machi's procedure [16], the search strategy is elaborated considering the objective of the research, in this case, the mobile applications in ophthalmology, focusing research on the applications of the Android operating system, in the bookstores PubMed, ACM, Cochrane Library from 2000 until 2017.

Selection of studies

For the studies selection, two criteria were considered:

- *Included items*: all items that are related to mobile device, android, also mobile applications linked with ophthalmology, ophthalmic. The review was based on the title and summary of the research work in question. If it was considered opportune, the introduction of the same was revised. It was decided to use terminology in English due to the large influence of written documentation in this language.
- *Excluded elements*: those academic articles that were outside the scope of this research work, the systematic reviews and the letters to the editor were excluded for the analysis of the selected articles, although this information was considered to establish comparisons in the results. The search was delimited to only those repositories that had arbitrated works and with full text.

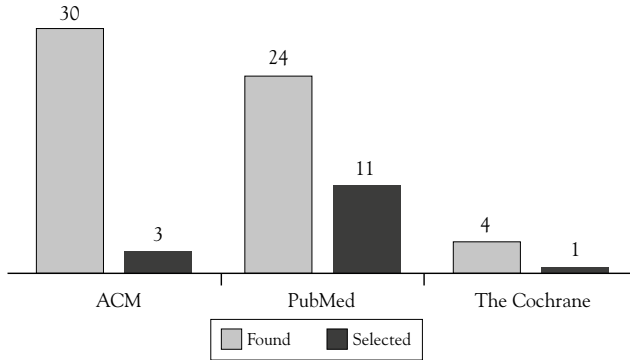
Mapping results

Following the methodology stated in Navarro [22], the classify articles and extract and make data aggregation has been included in this section, classifying them by:

Search of applications in published articles:

The search string that we applied in academic sources was AND (("smartphone" OR "mobile" OR "android") (Ophthalmology "OR" ophthalmic ")) and delimiting the years of publication since 2000; Fig. 1 shows the results obtained from the set of digital libraries, obtaining a total of 58 articles, of which 15 works were chosen depending on their subject and because they guarantee the support given to doctors in the labor practice.

Fig. 1
Number of papers found and selected from academic libraries



Making a more detailed view, we made emphasis on research questions. PI1, which categories have more ophthalmological applications?

Table 1
Categorization of applications according to the article

Apps categories	Apps number	Description
Management Applications	1	The implementation of mobile health monitoring programs for retinal pathology requires both access to mobile devices and motivation of the patient to participate in self-monitoring[13].
Office Support	1	Filmico Pro converts the smartphone with 20-D lenses, to examine the patient retina and save the scan in video mode, so that the health specialist can detect retinopathy [25].
Recessed	2	Take images and remote sorting of the retina through the use of a retinal adapter [26]. Capturing images of the fundus of the eye as seen through the direct ophthalmoscope[27].
Training	1	Tele-consultation framework, can be applied to improve attention to the most urgent health problems of India [28]
Integral System	2	Diagnoses efficiently based on rendering and enlarging images, caches several levels, security techniques set up service orientation [36]. Decision support systems (DSS) for the diagnosis of ocular diseases. Study guide for medical students. Clinical decision support system for primary care professionals [37].

Apps categories	Apps number	Description
Testing / Diagnostics	8	OphthalDSS, is an aid to primary care physicians in the diagnosis of red eye diseases through questions or images[29]. EyeHandBook, diagnoses and analyzes vision with evidence of near visual acuity [30]. App Paxos-Checkup, monitor the vision data specifically a visual acuity test and a patient Amsler dynamic grid remotely [31]. To compare the clinical evaluation of diabetic eye disease using standard dilated examination with data collected using a telepathology platform [32]. Assessment of visual acuity using a standard visual acuity app of 6 m (6SVA) [3]. It compares Ishihara's standard with smartphone color-test viewing. applications [33]. Design and validation of the macular risk rating system (MRSS), by calculating the sensitivity, specificity and area under the ROC curve (ie, c-index)[34]. It validates the self-design of the visual function and creates a password-protected web account for each patient [35].

In Table 1, it is determined that 53% of applications are in the category of Tests and Diagnostics (applications that allow to perform tests in the vision of the eye and give a diagnosis of possible eye diseases), followed by 13 % in embedded applications (Applications that require additional hardware, the doctor uses as support tool in the ophthalmological field) and 13% of applications are integrated systems (study guide for medical students, clinical decision support system for primary care professionals, diagnosis of several pathologies, correct vision through increasing resolution and contrast of the image) and 7% to each category of management applications, office support and training.

To respond to PI2, the possible users of the applications were determined as shown in Fig. 2, Of the 15 studies selected, most applications (80 %) are aimed at clinical specialists as a multimodal monitoring system. They use the apps (25 %) as a tool to examine the patient, capture retinal images of the eye, record video, organize information and provide patient control services. 75% of apps are test-oriented and Diagnostics, doctors use this information to detect pathologies in time and guarantee eye care to patients, apps are tools that help decision support and help the doctor to make a medical diagnosis. 13.3% of the applications are focused on the doctor and the patient, who have access to applications to update their knowledge in ophthalmology and to access control systems such as reservation of medical appointments. Only 6.6% of the articles

selected are for the patient, ensuring that the app allows monitoring the health of the retinal pathology.

About to PI3, in the 15 articles selected, the pathologies were not specified directly, the largest number of applications are focused on tests and diagnosis, the applications perform eye tests such as: red eye tests, visual acuity tests nearby, Amsler dynamic grid tests, dilatation tests, color tests, sensitivity tests, all these tests show some pathologies or ocular disease, therefore, Fig.2 shows the categories that cover the articles studied.

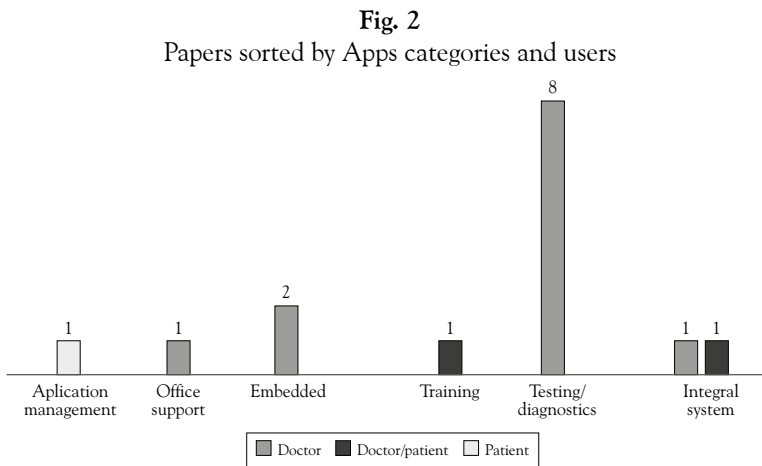


Table 2
Number of applications in pathologies according to articles

Diseases / Pathologies	Number of applications	% application
Macular degeneration	1	7 %
Color blindness	1	7 %
Diagnosed diseases	1	7 %
Optic nerve	1	7 %
Diabetic retinopathy	2	13 %
Retina	2	13 %
Ophthalmologic diseases	3	20 %
Visual acuity	4	27 %
Total	15	100 %

Commercial Apps on the Google Play Store.

Play Store offers mobile applications for android operating system, hence, the search string changed to a direct search with each of the following words: Op-

tometry, Ophthalmology, Presbyopia, Astigmatism, Cataracts, Conjunctivitis, Strabismus, Glaucoma, Hyperopia, Myopia, Stye, Presbyopia, Rhinitis but delimiting applications between 2014 and 2017. Duplicate applications were eliminated, obtaining a total of 223 applications, were organized to answer the research questions.

With the PI1, which categories have more ophthalmological applications? The table 3 shows that 29 % of applications are in the category of Tests and Diagnostics, the apps examine the view to test the vision in the house in an easy, pleasant, intuitive and stress-free way. There are different tests such as: voice recognition test, far vision test, standard chart based tests such as Snellen chart, LogMAR chart, Golovin-Sivtsev chart, Landolt C / Japanese vision test, chart Of Tumbling E, tests that reveal the function of contrast sensitivity, visual acuity test, tests that diagnoses the early treatment of diabetic retinopathy, myopia and farsightedness, and reports the results; In general, these types of applications offer the necessary tests to know the visual health of the patient.

In addition, new categories such as public information, games and knowledge validation appear among applications. Public information apps (15 %) offer up-to-date information on ophthalmology centers, conference presentations, scientific and educational projects, events from different countries, risk factors for eye disease, proper use of glasses and contact lenses, etc. Games apps (3 %) offer fun for kids and adults with ophthalmic learning. Knowledge validation apps (14 %) are a series of questions asked to the doctor or patient, they select the correct answer guaranteeing the knowledge acquired, the evaluation is done based on images to select the diagnosis of diseases.

Training and education apps for doctors and patients (14 %) offer videos of vitreoretinal disease, answers questions How to prevent eye diseases? What are the symptoms? Why is treatment so important? All this explained in an interactive, didactic and illustrative way in a virtual simulation and through text, images and videos of each of the pathologies or diseases described in Table 4.

The other categories together total the remaining 25 %, these applications provide support within the field of multimodal diagnosis.

Responding to PI2, Play Store allows users to browse and download free and paid applications, Table 3 shows that 6 % of applications found are available for use by the clinical specialist alone, 26 % of applications are available for Doctors or patients, and 67 % of applications are focused on patients. Software developers focus applications on patients, because they use the applications intuitively or curiosity to control their ophthalmological health.

Table 3
Categorization of apps / users in play store

Ophthalmologic categories	Doctor	Doctor / Patient	Patient	Total	%
Application Management		6	17	23	10 %
Office Support	1	4	24	29	13 %
Embedded			1	1	0 %
Training	5	16	10	31	14 %
Public Information	1	9	23	33	15 %
Games		1	5	6	3 %
Testing / Diagnostics	5	12	48	65	29 %
Integral System		2	1	3	1 %
Knowledge Validation	2	9	21	32	14 %
Total	14	59	150	223	100 %

With respect to PI3, the searches of the applications in play store were made for each of the pathologies or diseases. If an application is focused on different pathologies, they are grouped into several pathologies. Table 4 shows the pathologies covered by mobile applications. There are applications focused on a single pathology, but most (32.3 %) are focused on several pathologies, it can also be uncovered that 91.3 % of applications are free access for the user.

Table 4
Number of applications according to pathologies in the play store

Pathology	Payment	Free	Free or payment	Total	%
Presbicia		1		1	0,4
Astigmatismo	3	2		5	2,2
Cataratas		3		3	1,3
Conjuntivitis		16		16	7,2
Estrabismo		12		12	5,4
Glaucoma		35		35	15,7
Hipermetropía	2	50		52	23,3
Miopia	3	4		7	3,1
Orzuelo		4		4	1,8
Presbicia		10		10	4,5
Renitis	1	5		6	2,7
Varias Patologías	9	61	2	72	32,3
Total	18	203	2	223	100,0
%	8,1	91,0	0,9	100,0	

For free applications in the Play Store, the most frequent users are patients focusing on using applications to test if they have any pathology.

Limitations

Our study is transversal and limited to what was published in the Google Play Store, the moment we look at the list of selected applications. We have tried to control this by using a screenshot of the search results, although at the time of publication, we recognize that the composition of the “ophthalmology” category will have changed.

The catalog of Play Store for Android is free of information, at each moment, increase and decrease applications in each category. For the study has included applications that have downloads and at least 3.5 ranking points and finally, we only examine the titles and descriptions to categorize the applications. The quality of the reviewed applications was not assessed.

Final considerations

In this paper, we analyze the different ophthalmological mobile applications proposed so far in established bookstores and play store. In this analysis we conclude that, most applications focused on tests and diagnoses especially of visual acuity and diabetic retinopathy, where patients are considered the main niche.

There are a large number of commercial applications focused on the training and validation of knowledge, for doctors, medical students and patients to learn diagnoses and treatments through images.

The applications provide greater prescience to diagnose eye diseases becoming a means to standardize and improve the efficiency of the ophthalmological attention. If business applications specified the software development process applied (testing), the apps would increase the level of trust.

The research found that there are isolated applications for the administration of patient information, patient follow-up, diagnosis, treatment, medical appointment control, learning dictionaries, pathology detection and other benefits; To use them in an ophthalmological center, which requires an integrated mobile application to take advantage of the technological advantages of the Internet and mobile communication.

As future work can be considered, investigate mobile applications in other operating systems such as IOs and Windows Mobile, add new keywords for information search and other medical libraries to counter the information found.

References

- [1] Aungst, T.D., *Medical applications for pharmacists using mobile devices*. Annals of Pharmacotherapy, 2013. 47(7-8): p. 1088-1095.
- [2] Franko, O.I. and T.F. Tirrell, *Smartphone app use among medical providers in ACGME training programs*. Journal of medical systems, 2012. 36(5): p. 3135-3139.
- [3] Perera, C., et al., *The Eye Phone Study: reliability and accuracy of assessing Snellen visual acuity using smartphone technology*. Eye, 2015. 29(7): p. 888-894.
- [4] Rivero, F., *Informe Mobile en España y en el Mundo 2016*, 2016, Digital Marketing Trends.
- [5] Portal, T.S., *Number of smartphone users worldwide from 2014 to 2020 (in billions)*, 2014.
- [6] Wu, R.C., et al., *The use of smartphones for clinical communication on internal medicine wards*. Journal of hospital medicine, 2010. 5(9): p. 553-559.
- [7] Mosa, A.S.M., I. Yoo, and L. Sheets, *A systematic review of healthcare applications for smartphones*. BMC medical informatics and decision making, 2012. 12(1): p. 67.
- [8] Brian, D., *Physician smartphone adoption rate to reach 81% in 2012*. Mobi Health News.
- [9] Ventola, C.L., *Mobile devices and apps for health care professionals: uses and benefits*. PT, 2014. 39(5): p. 356-364.
- [10] Paunksnis, A., et al., *The use of information technologies for diagnosis in ophthalmology*. Journal of telemedicine and telecare, 2006. 12(1_suppl): p. 37-40.
- [11] De la Torre-Díez, I., et al., *Decision support systems and applications in ophthalmology: literature and commercial review focused on mobile apps*. Journal of medical systems, 2015. 39(1): p. 1.
- [12] Steinhubl, S.R., E.D. Muse, and E.J. Topol, *Can mobile health technologies transform health care?* Jama, 2013. 310(22): p. 2395-2396.

- [13] Ludwig, C.A., et al., *Mobile Health in the Retinal Clinic Population: Access to and Interest in Self-Tracking*. Ophthalmic Surgery, Lasers and Imaging Retina, 2016. 47(3): p. 252-257.
- [14] Madhukumar, S. and R. Vijayalakshmi. *Visual dictionary: A decision support tool for DR pathology detection on POI*. in *Information Communication and Embedded Systems (ICICES), 2013 International Conference on*. 2013. IEEE.
- [15] Bursell, S.E., L. Brazionis, and A. Jenkins, *Telemedicine and ocular health in diabetes mellitus*. Clinical and Experimental Optometry, 2012. 95(3): p. 311-327.
- [16] Play, G. *Google Play apps*. 2017 [cited 2017 Junio]; Available from: <https://play.google.com>.
- [17] Murfin, M., *Know your apps: an evidence-based approach to evaluation of mobile clinical applications*. The Journal of Physician Assistant Education, 2013. 24(3): p. 38-40.
- [18] Mickan, S., et al., *Evidence of effectiveness of health care professionals using handheld computers: a scoping review of systematic reviews*. Journal of medical Internet research, 2013. 15(10): p. e212.
- [19] Schuh, C.J., J.S. de Bruin, and W. Seeling. *Acceptability and difficulties of (Fuzzy) decision support systems in clinical practice*. in *IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS), 2013 Joint*. 2013. IEEE.
- [20] Misra, S., T.L. Lewis, and T.D. Aungst, *Medical application use and the need for further research and assessment for clinical practice: creation and integration of standards for best practice to alleviate poor application design*. JAMA dermatology, 2013. 149(6): p. 661-662.
- [21] Petersen, K., et al. *Systematic Mapping Studies in Software Engineering*. in *EASE*. 2008.
- [22] Navarro, C.X., A.I. Molina, and M.A. Redondo, *Towards a Model for Evaluating the Usability of M-learning Systems: from a Mapping Study to an Approach*. IEEE Latin America Transactions, 2015. 13(2): p. 552-559.
- [23] Macchi, D. and M. Solari. *Mapecto Sistemático de la Literatura sobre la Adopción de Inspecciones de Software*. in *Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI 2012)*. 2012.
- [24] Yáñez-Luna, J.C., et al., *Un acercamiento a las tecnologías móviles para el aprendizaje corporativo: un mapecto sistemático del estado del arte*. Opción, 2016. 32(2).

- [25] Oluleye, T., *Reply to: Mobile phones for retinopathy of prematurity screening in Lagos, Nigeria, sub-saharan Africa*. *European journal of ophthalmology*, 2016. 26(3): p. e59.
- [26] Bastawrous, A., et al., *Clinical validation of a smartphone-based adapter for optic disc imaging in Kenya*. *JAMA ophthalmology*, 2016. 134(2): p. 151-158.
- [27] Prasanna, P., et al. *Decision support system for detection of diabetic retinopathy using smartphones*. in *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, 2013 7th International Conference on. 2013. IEEE.
- [28] Subramanian, L. and V. Vyas. *A scalable mobile tele-consultation framework for enhancing healthcare access*. in *Proceedings of the 1st International Conference on Wireless Technologies for Humanitarian Relief*. 2011. ACM.
- [29] Pathipati, A.S., et al., *Visual acuity measured with a smartphone app is more accurate than Snellen testing by emergency department providers*. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 2016. 254(6): p. 1175-1180.
- [30] Tofigh, S., et al., *Effectiveness of a smartphone application for testing near visual acuity*. *Eye*, 2015. 29(11): p. 1464-1468.
- [31] Phung, L., et al., *Reproducibility and comparison of visual acuity obtained with sightbook mobile application to near card and snellen chart*. *Retina*, 2016. 36(5): p. 1009-1020.
- [32] Toy, B.C., et al., *Smartphone-based dilated fundus photography and near visual acuity testing as inexpensive screening tools to detect referral warranted diabetic eye disease*. *Retina*, 2016. 36(5): p. 1000-1008.
- [33] Sorkin, N., et al., *Comparison of Ishihara booklet with color vision smartphone applications*. *Optometry & Vision Science*, 2016. 93(7): p. 667-672.
- [34] Chiu, C.-J., et al., *A risk score for the prediction of advanced age-related macular degeneration: development and validation in 2 prospective cohorts*. *Ophthalmology*, 2014. 121(7): p. 1421-1427.
- [35] Tsui, I., et al., *Pilot study using mobile health to coordinate the diabetic patient, diabetologist, and ophthalmologist*. *Journal of diabetes science and technology*, 2014. 8(4): p. 845-849.
- [36] Huang, F.-C., et al., *Eyeglasses-free display: towards correcting visual aberrations with computational light field displays*. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2014. 33(4): p. 59.
- [37] López, M.M., et al., *A mobile decision support system for red eye diseases diagnosis: experience with medical students*. *Journal of medical systems*, 2016. 40(6): p. 1-10.

(SUBMISSION 184)

MDLib: a movement detection library for motion sensors and its use on physical therapies

JUAN DIEGO PRADO
MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ
EDWIN GAMBOA
MARÍA TRUJILLO
Universidad del Valle
Cali, Colombia

Abstract

Nowadays motion detection is a widely used technique in many application areas. One application is the quantification of body movements, where motion sensors along with movement detection algorithms are employed. With the current amount of devices on the market, and each one with different APIs to connect them with applications, a common library that provides a simple way to connect devices with an application is needed. Consequently, this paper presents the creation of a library, which main objective is to solve one of the physical rehabilitation problems: the impossibility of taking movement measures of patients during active exercises. Finally, initial qualitative and quantitative tests showed that the precision of the library is acceptable and subject to improvement depending on future sensor devices.

Keywords: movement detection, library, physical therapy, joint, goniometry, sensor, technology, motion, angles, interface.

Introduction

Motion detection is the process of detecting a change in the relative position of an object [1]. Motion can be detected by several electronic and mechanic devices, each one for a specific objective. One of those objectives is the detection of objects and people in a short-range distance. Sensors that are capable of performing this task have an acceptable accuracy in motion quantification and detection, allowing the possibility of performing motion analysis, finding differences, performing surveillance and other possibilities.

Motion detection takes special relevance on physical rehabilitation therapies, when movement patients are tracked in order to evaluate their progress along therapies. The progress evaluation is based on traditional measures, which are captured from patients lying on a stretcher, being impossible to measure the progress when they are performing rehabilitation exercises.

In the literature, some works make use of sensors to improve and expand the number of measures taken during therapies, showing the importance of measuring in this field [2]. Additionally, there are libraries, such as OpenNI (discontinued) [3] and Vitruvius [4], that offer some tools which make possible to capture angles during therapies using only one type of device.

In this paper, a Movement Detection Library (MDLib) is proposed to measure angles and motions during rehabilitation therapies, and to introduce a strategy for a correct integration of several motion sensing technologies. MDLib was developed by Multimedia and Computer Vision group from Universidad del Valle in collaboration with the Physical Rehabilitation team from the Hospital Universitario del Valle.

Key concepts

Goniometry

In medicine, goniometry refers to the measurement of angles, in particular the measurement of angles created at human joints by the bones of the body [5]. In general, this measure is used by therapists to record the progress from physical therapies.

Goniometry has two main uses, the first is to evaluate the position of a joint in the space, it is used for analysing the lack of motion at the joint; the second is to evaluate each of the three space planes, i.e. measurement of how much the joint can stretch to perform a movement [6].

Planimetry

Planimetry is the description of the imaginary planes that can be used as a reference to split the human body into different zones [6]. The three principal divisions used in goniometry are the *sagittal plane* that splits the body into two halves: the right and the left; the *frontal or coronal plane* that divides the body into ventral and dorsal halves (used for tracking the movements of abduction and adduction); and the *transverse plane* that divides the body into superior and inferior halves.

Physical therapy is a health discipline that assesses and provides treatment to individuals in order to develop, maintain and restore maximum movement and function throughout life. This includes providing treatment in circumstances where movement and function are threatened by aging, injury, disease or environmental factors [7].

This discipline involves the interaction between the physical therapist, patients/clients, other health professionals, families, care givers and communities in a process where movement potential is examined/assessed and goals are agreed upon, using knowledge and skills unique to physical therapists [8].

MDLib

The issues described below raised when employing body movement sensors for physical rehabilitation:

- *Technological changes*: Currently, there is a variety of body sensors and new versions are constantly released. As consequence, adaptations of new programming interfaces to be able to use those devices is needed.
- *Devices changes*: Teams working on projects directed to a very diverse public, mainly for developing countries, sometimes suffer the impossibility of setting a single standard device for their software because people cannot get the same hardware easily. Therefore, the development teams have to program a different version of a software for every target device. Besides, the authors of this article did not find any software solution that offer the possibility of measuring angles between joints for several devices.

The above problems can be addressed by making an interface that allows developers to separate the common functions of all devices on one series of classes and the remaining fractions of code (particular for every device) in another series of classes, reducing code redundancy, effort and avoiding the need for shipping more than necessary versions.

- *Physical therapy process*: Talking specifically of physical therapy, since it was our case study, there are two different types of motion used during sessions [6]: *active motion* that are the group of movements produced by voluntary muscle contraction without therapist's assistance, and *active assisted motion* that refers to movements performed by the patient with the therapist's aid.

In order to collect real time data, professionals would require to take samples of measurements while their patients are making active motion exercises. However, this measurement is not possible, due to the the impossibility of having physical contact during that period of time.

Therefore, non-invasive sensors along with computer-aided algorithms are needed, letting therapists know the motion ranges that people reach on the real life situations that are proposed through active exercises, being able to obtain a deeper data review, more accurate conclusions and a broader overview of people's evolution.

Thus, a movement detection library (MDLib) is proposed, to address the above problems in a way that can be extended, improved and modified in accordance to any future developer's requirement.

Main features

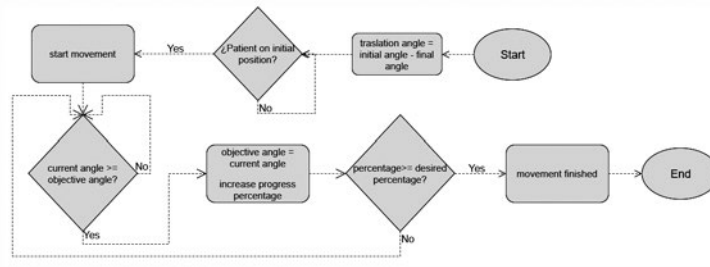
- *Storage of body parts*: The library allows to store any body part information such as name, 3D position on the real world, or any custom additional field.
- *Obtaining positions of body joints*: It is possible to obtain the 3D position data provided by multiple sensors in a single and universal way, making app connection and device upgrades easier to perform.
- *Angles between joints*: MDLib provides a function in charge of the calculation of angles between any three given body joints, which is an important information to track a patient's progress.
- *Movement detection*: In order to detect movements in a proper way, the implemented detection algorithm (Figure 1) calculates information every time that new data arrives from the sensor device.

The user of the library must indicate three body parts or joints that will set the angle to track, and the starting and final movement angle values. MDLib will set a series of checkpoint intermediate angles to keep track of the partial progress of movements.

After individual passes through all of the checkpoints, arriving to the desired angle, the movement will be considered as ended and the function will return its completion.

- Device adaptation: MDLib is organised in such a way that the common code concerning all of the devices is found in a common class, and the particular code used to connect every device with the library is found on classes named *adaptors*.

Fig. 1
Movement Detection Strategy



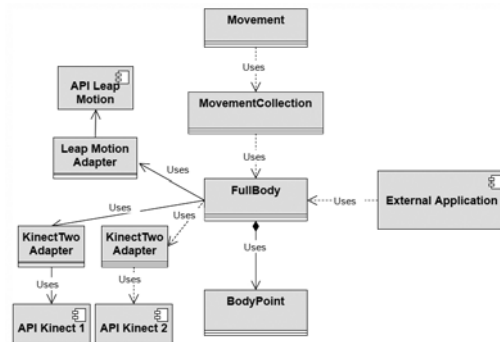
Architecture

MDLib is a set of functions created based on the goniometer measurement of angular movements of body joints, that includes a function to connect sensors to an application system (Fig. 2):

- Sensors APIs: External components that provide the body position on the devices, using different coordinate systems [9].
- Adapters: Classes that transform data obtained from the APIs into usable data for the application system. Inside these classes, the original sensor's coordinates are modified in such way that a new origin will always be the floor of the room where the sensor is located, which guarantees that whichever is the height of the sensor, the coordinates will not vary for a sample.
- Movement: Calculates angles between three 3D points provided for any function that uses this component and detects the execution of any movement following the strategy shown on Figure 1.
- Movement Collection: It contains the information about the 3D points needed to calculate an angle of a movement, and if required, it uses *Movement* class to perform the angle calculations.
- BodyPoint: Contains data concerning a body part or a joint, e.g. name and current 3D position.
- FullBody: Holds every BodyPoint object in a dictionary and periodically updates values through communication with every sensor adapter available.

- External application: Is the app logic used to perform the operation wanted, when body information data or angles calculations are needed.

Fig. 2
MDLib architecture



Additionally, the technologies used to implement the MDLib are described below:

- C# as default programming language and C++ as an additional language. These languages were chosen because they are the supported languages of the Kinect sensors. Moreover, this library was created as a component within a project mainly developed on C# called Playtherapy, which is a videogame to assist the physical therapies at the Hospital Universitario del Valle, in Cali Colombia.
- GitHub system for version control and *Taiga* for keeping track of tasks, issues and the Scrum's product backlog [10].
- Kinect 1 and 2 sensors were used as firsts devices integrated to the library, since they provide the position of 20 and 25 body joints respectively [11].

Validation

In order to validate the MDLib and review the precision offered by the Kinect 2 sensor evaluating body parts angles, a test is designed along with the support of physiotherapists from the Hospital Universitario del Valle.

The test consists of:

1. Two physiotherapists are in charge of setting the patient's position according with the desired angle with the aid of the goniometer
2. Then, the MDLib is used to measure the angle established by the therapists. At this step, a Kinect-2 is employed.

3. At the end of the test, the differences between manually measurement angles and library's angles are compared and analysed.

Additionally, a survey was conducted over the physiotherapists at the Hospital Universitario del Valle with the aim of analysing whether the library could be useful for supporting physical therapies and keeping track of a patient's progress. The survey asked about a personal opinion on MDLib, positive and negative aspects, and perception about performing physical therapies supporting by MDLib and tools that allow to measurement movements during active exercises.

Results

As a result of the first test explained in section 5, the samples of the movements evaluated by the therapists and MDLib are summarised in Table 1 and Table 2. Green-colored cells are showing that the difference between professionals and sensors are less than 10 degrees, and red-colored cells indicate a difference greater than 10 degrees.

After the survey was applied and synthesized, every interviewed agreed in the MDLib inclusion along with other technological tools on physical therapies may contribute to improve the patient motivations.

Moreover, physiotherapists gave a positive feedback since these technologies allow them to obtain information about patients during therapy sessions where they are not able not participate or quantify exactly a movement, e.g. during active exercises.

Table 1
Angles validation

	Shoulder abduction	Elbow flexion	Hip extension
Group one			
Angle evaluated	0	0	20
Avg. Difference	8	13.5	4.5
Group two			
Angle evaluated	45	30	0
Avg. Difference	4.5	3.5	7.5
Group three			
Angle evaluated	90	60	45
Avg. Difference	2	8	15
Group four			
Angle evaluated	135	100	90
Avg. Difference	8.5	5.5	5

	Shoulder abduction	Elbow flexion	Hip extension
Group five			
Angle evaluated	180	135	
Avg. Difference	20	7	
Overall Avg. Difference	8.5	7.5	8

Although, physiotherapists indicated that these technologies are a great companion to their work, they cannot replace the measures taken by the specialists passively and these have to be taken anyway.

Discussion

The first aspect to take into account is shown on Table 1 and Table 2, where some of the angle differences are acceptable for physiotherapists, green values, but on the other side, there are other values (red ones), which cannot be admitted.

The results show that the unacceptable measures are mostly presented on movements that are performed on the sagittal plane, whose detection is poorly offered by the Kinect 2 sensor, not recommended and unacceptable [9]. However, the green values are presented on movements concerning the frontal plane, where this sensor is admissible to use [12].

Table 2
Angles validation (cont.)

	Hip flexion	Knee flexion	Cervical extension
Group one			
Angle evaluated	0	0	30
Avg. Difference	16.5	8.5	18
Group two			
Angle evaluated	45	45	0
Avg. Difference	12	14.5	16.5
Group three			
Angle evaluated	90	90	20
Avg. Difference	4.5	7	2.5
Group four			
Angle evaluated	125	110	
Avg. Difference	2	34.5	
Overall Avg. Difference	8.8	16.1	12.3

A limitation found after the former tests was the low availability of patients at the Hospital Universitario del Valle, that did not allow to strengthen the results in order to generalise this work's conclusions.

By last, in terms of the physiotherapist's perceptions, they provided feedbacks to take into account, commentaries that can be triggered by the unreliability offered on certain situations by the sensor, causing that MDLib cannot function at the moment for evaluating therapies.

Conclusions

This paper described the creation of a Movement Detection Library that is used to keep track of the body parts positions and the movements performed on a physical therapy session. Health professionals who were part of the project stakeholders participated as idea creators and then as product evaluators.

Precision along Kinect 2 sensor was evaluated qualitatively with a survey directed to physiotherapists and quantitatively through a movement angles comparison following manual vs hardware strategy. Although, there were certain cases where errors surpassed the acceptable values, it was concluded that current sensors are capable of doing an acceptable job in specific cases, e.g. movement detection in frontal plane, MDLib works properly and can be used.

Moreover, the reliability and precision of MDLib on clinical measurements may be improved when devices capable of sensing properly the sagittal and the transversal planes are available on the market.

Further work will focus on performing comparisons using MDLib with other sensors and evaluating measurements using the library with more patients, impossible thing at the moment due the lack of availability of patients to participate in the tests.

References

- [1] Beal, V: Motion detection (2017), [Online] Available in: http://www.webopedia.com/TERM/M/motion_detection.html
- [2] Padilha, A., Bó, L., Hayashibe, M., Poignet, P. "Joint Angle Estimation in Rehabilitation with Inertial Sensors and its Integration with Kinect" in *33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS*. CITY, 2011.

- [3] OpenNI, (2013). *OpenNI* [Online] Available in: <https://github.com/OpenNI/OpenNI>
- [4] LightBuzz, (2016) *Vitruvius* [Online] Available in: <https://vitruviuskinect.com>
- [5] Norkin, C.C., White, D.J.: Measurement of joint motion: a guide to goniometry. FA Davis (2016)
- [6] Taboadela, C., *Goniometria: una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales*. Asociart (2007)
- [7] Bennett, J.P (2010). Physical Therapy: Theory, Practices, and Benefits [Online] Available in: <http://search.ebscohost.com.bd.univalle.edu.co/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=376655&lang=es&site=ehost-live>
- [8] World Confederation for Physical Therapy: Policy statement (2014) [Online] Available in: <http://www.wcpt.org/policy/ps-descriptionPT>
- [9] Microsoft Inc (2017). *Coordinate mapping* [Online] Available in: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn785530.aspx>
- [10] Scrum.org (2017) *What is scrum?* [Online] Available in: <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>
- [11] Microsoft Inc (2013). *Skeletal tracking* [Online] Available in: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973074.aspx>
- [12] Pfister, A., West, A., Bronner, S., Adam, J.: Comparative abilities of microsoft kinect and vicon 3d motion capture for gait analysis. *Journal of Medical Engineering & Technology* 38(5), 278 (2014)
- [13] Ismail, S., Osman, E., Sulasiman, N., Adnan, R. "Comparison between marker-less kinect-based and conventional 2d motion analysis system on vertical jump kinematic properties measured from sagittal view," in *Proceedings of the 10th International Symposium on Computer Science in Sports. CITY* (2015), p. 392

1 11
2 **INGENIERÍA**
3 DE SOFTWARE Y
4 ARQUITECTURAS
5 DE TI 0111
6 (TECNOLOGÍAS
7 DE LA 110
8 INFORMACIÓN)
9 01

(SUBMISSION 83)

Arquitectura base de sistemas distribuidos, fundamentado en microservicios

JOHAN TIQUE RAMÍREZ
JOSÉ LUIS ARCINIEGAS
Universidad del Cauca
Popayán, Colombia

Resumen

El presente trabajo describe una arquitectura de software base para desplegar aplicaciones distribuidas fundamentadas en microservicios, planteando además una disrupción conceptual y de implementación con diseños arquitectónicos similares orientados a servicios como SOA. Las aplicaciones modernas y en especial las aplicaciones multimedia, son en esencia heterogéneas en tecnología y en sus equipos de trabajo, lo que afecta su despliegue tanto en lógica de negocio y procesamiento, como en almacenamiento de información. Así pues, dada las tendencias actuales en propuestas arquitecturales de software, basadas en servicios, los procesos de segmentación y contenerización de componentes pertenecientes al dominio de la aplicación, la comunicación reactiva entre dichos componentes (contenedores) y la automatización de la entrega continua de los servicios, presentan una solución adecuada, eficaz y robusta para las plataformas de software actuales, solución abordada en la presente investigación.

Palabras clave: arquitectura, microservicios, entrega continua, servicios, comunicación reactiva, automatización, contenerización, multimedia.

Introducción

Los sistemas de comunicación y las formas de proveer nuevos escenarios para gestionar, compartir y crear información, evolucionan demandando el despliegue de arquitecturas con un alto nivel de eficiencia en términos de diseño, desarrollo, despliegue y mantenimiento. Las tecnologías de la información forman parte implícita de la cotidianidad de las personas, creando una natural disposición para la generación y consumo de contenidos de diferentes tipos (texto, video interactivo, realidad virtual, entre otros) [1], [2]. Esta evolución ha generado cambios significativos en la manipulación y presentación de la información. Nuevas formas de compartir e interactuar con contenido desde distintos dispositivos, grandes requerimientos de disponibilidad y escalabilidad del servicio, grandes volúmenes de tráfico concentrados en ocasiones en pequeñas ventanas de tiempo, respuesta natural y oportuna al cambio, son requisitos cada vez más críticos en el diseño de soluciones informáticas [3], [4].

En el presente trabajo, son analizadas debilidades, problemas y retos que deben ser tenidos en cuenta para el diseño e implementación de soluciones sobre arquitecturas de *software* modernas y sostenibles, presentando una solución arquitectónica robusta, flexible y reactiva basada en *componentización*, fundamentada en la premisa de diseño basado en microservicios. De esta forma, este artículo resume una investigación en curso que describe en la sección 2 el concepto tradicional del despliegue de aplicaciones con sus fortalezas y falencias, presentando su evolución desde soluciones orientadas a servicios hasta microservicios en la sección 3, para finalmente detallar un diseño arquitectónico de referencia para la implementación de microservicios junto a una breve descripción del escenario de validación en las secciones 4 y 5.

Despliegue común de aplicaciones (debilidades y fortalezas)

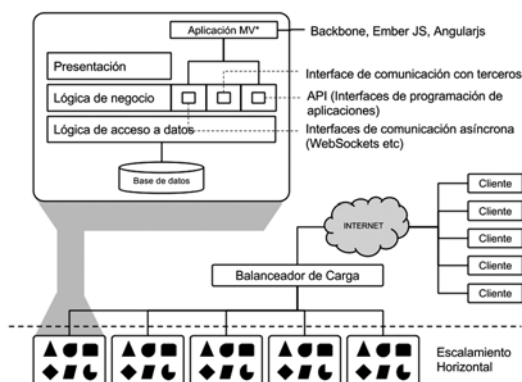
En el marco comercial y académico, es común diseñar y desplegar soluciones de *software* basadas en *aplicaciones monolíticas* [5], [6], las cuales exponen un patrón estructurado en capas donde el despliegue de la interfaz de usuario, la lógica de negocio y la persistencia están combinadas en un único programa maestro sobre una única plataforma; estas soluciones han evolucionado a arquitecturas hexagonales [6] convergiendo en distintos tipos de componentes como:

- *Componentes de Presentación*. Responsables de manejar las peticiones HTTP -u otros protocolos- y responder con HTML, JSON/XML, Plain Text entre otros.

- *Lógica de Negocio*. Procesos basados en responder a actividades del dominio del negocio, procesamiento de datos o funciones del sistema.
- *Lógica de Acceso a Datos*. Responsable del acceso y manipulación a la información almacenada en la base de datos.
- *Lógica de Integración de Aplicación*. Capa como soporte al sistema de mensajería entre aplicaciones.

La Fig. 1 presenta una visión generalizada y transversal a cualquier dominio de negocio de una solución *software*, soportada en una arquitectura hexagonal escalonada a través de replicación horizontal en múltiples servidores, usando un balanceador de cargas. Este esquema está fundamentado en la separación de responsabilidades y el soporte para interfaces y adaptadores de comunicación. Estas y otras soluciones similares con mayor cohesión, han sido utilizadas ampliamente durante los últimos quince años mostrando numerosos beneficios, destacando los siguientes: dependencias, despliegue y escalamiento básicos simples.

Fig. 1
Arquitectura web hexagonal de propósito general



Sin embargo, cuando las aplicaciones crecen en responsabilidad y demanda, y sus equipos de desarrollo crecen en número, las arquitecturas convencionales o hexagonales empiezan a presentar un conjunto interesante de debilidades:

- *Grandes cantidades de código en las aplicaciones*: causando intimidación en el equipo de desarrollo y sus nuevos integrantes, la ausencia de una óptima modularización y ralentización en el proceso de carga de la aplicación, para el desarrollo de la misma. Estos problemas son discutidos en las secciones 3.1.1, 3.3.1 y 3.3.3 de [7].
- *Entrega continua difícil de generar*: el despliegue frecuente en el ambiente de producción aumentará los tiempos de entrega, debido a que la aplicación

consumirá cada vez más recursos y será difícil de mantener. Escenario documentado en la sección 3.3.3 de [7].

- *Escalamiento poco flexible y costoso*: como es presentado en la sección 6.1.3 de [7], cada proceso de escalamiento horizontal representará un costo significativamente mayor con problemas considerables sobre el acceso a los datos -que sigue siendo único- y la sobrevaloración de recursos sobre componentes que pueden no necesitarlo.
- *Escalamiento en desarrollo es poco flexible*: de acuerdo a la Ley de Conway [8], la integración de nueva funcionalidad en la aplicación reunirá naturalmente a todo el equipo de desarrollo debido a que aún con arquitecturas hexagonales es difícil la planificación segmentada por áreas del dominio del negocio.
- *Fuertes Restricciones sobre la oferta tecnológica*: Chris Richardson en [5] presenta cómo la dependencia de tecnologías de implementación específicas para lógica de negocio, interfaces y acceso a datos y la dependencia de un sólo esquema principal de base de datos condiciona la óptima estructuración del modelo de datos acorde al dominio de negocio.

Diseños arquitectónicos modernos: hacia microservicios

En la década de los 2000's empezó a ser diseñado y popularizado un esquema de diseño basado el concepto de sistemas distribuidos, dando como resultado una tecnología llamada *Arquitectura Orientada a Servicios* (en adelante SOA) [9]; un paradigma de diseño de *software* donde existen funcionalidades agrupadas y proveídas en forma de servicios. Los principios del diseño orientado a servicios, recalcan la separación de responsabilidades en la aplicación y la definición de políticas de intercambio de información. Los servicios son entonces considerados como componentes de *software*, localizados en unidades discretas, autónomas y accesibles por red, cada una diseñada para resolver un problema individual y específico.

Acorde a Microsoft Corporation, sus autores John Evdemon y Ron Jacobs en [10], SOA es una arquitectura débilmente acoplada diseñada para satisfacer las necesidades de negocio de una organización, y que además puede ser descrita en cuatro dogmas:

- *Los límites son explícitos*: los servicios interactúan enviando mensajes transversalmente sobre sus límites. Estos límites son formales y explícitos. No

hay presunciones acerca de qué está detrás de los límites, lo que preserva la flexibilidad en cómo los servicios son implementados y desplegados.

- *Los servicios son autónomos*: los servicios no son subordinados o dependientes de otra base de código, estos son independientemente versionados, desplegados y gestionados. Un servicio reacciona a mensajes, cómo ese mensaje fue creado o qué pasará con cualquier respuesta que el servicio genere es intrascendente a la acción que este servicio tomará.
- *Los servicios comparten esquemas y contratos, no sus clases*: sólo mensajes pasan desde un servicio a otro, no código. Estos no son al azar, sino una secuencia de uno o más que ya han sido explícitamente acordados en contratos o esquemas.
- *La compatibilidad de los servicios está basada en políticas*: un servicio debe ser capaz de expresar en una representación estándar de política que es lo que él hace y cómo los clientes deben comunicarse con él.

Microservicios

En el año 2012 fue formalizado y presentado el término *Microservicios* en la conferencia titulada “*Microservices - Java, the Unix Way*” [11] en la 33rd degree Conference - Conference for Java Masters.

El estilo arquitectónico de microservicios propone el desarrollo completo de aplicaciones como una *suite* de pequeños servicios, cada uno desplegado independientemente en su propio proceso y con su propio ciclo de vida, comunicándose con otros servicios a través de mecanismos ligeros basados -generalmente- en interfaces orientadas a recursos, soportadas sobre HTTP y similares.

De igual forma, estos servicios deben ser por obligación, gestionados con una centralización mínima, de forma automática utilizando estrategias de despliegue y entrega continua con una infraestructura de preferencia *contenerizada*. Martin Fowler y James Lewis en [12] describen los microservicios, haciendo uso principalmente de las siguientes definiciones:

- *Componentización vía servicios*: un componente en este contexto, es una unidad de *software* que es independientemente reemplazable, desplegable y actualizable. Un componente no es una librería, dado que su invocación no es generada en memoria, por el contrario, estos componentes se comunican usando mecanismos basados en interfaces públicas orientadas a servicios web o llamadas a procedimientos remotos (en adelante RPC, por sus siglas

en inglés). Cada servicio establece sus límites y debe permanecer lo menos cohesionado posible de otros servicios.

- *Organizado alrededor de capacidades del negocio*: cada servicio contempla su propia organización de implementación orientada al equipo de desarrollo y al dominio del negocio asociado al servicio definido.
- *Puntos de acceso inteligentes y tuberías tontas*: contrario a las soluciones más comunes de SOA orientadas al uso de Buses de Servicio Empresarial (en adelante ESBs, por sus siglas en inglés), los microservicios se comunican a través de protocolos ligeros centrando la lógica del intercambio de información en las interfaces públicamente expuestas, evitando el uso de infraestructura sofisticada que requiere protocolos complejos u orquestación centralizada.
- *Gestión descentralizada*: tanto la gestión de los servicios en términos de despliegue, pruebas y comunicación, como la disposición tecnológica, debe ser diversificada. Pese a que se ha recalcado la importancia de crear servicios independientes, es importante mencionar que cada servicio debe ser creado bajo la base tecnológica más conveniente, definiendo la tecnología de base datos (SQL, noSQL, grafos, etc) y el lenguaje de programación más apropiado para la responsabilidad del servicio. Cada servicio deberá tener su propia base de datos.
- *Automatización de infraestructura*: en términos de aprovisionamiento, pruebas y despliegue de *software*, todo el desarrollo debe estar automatizado y gestionado, con capacidad para soportar la medición cuantificada del estado detallado de la aplicación. Idealmente esta información debería ser la base para aplicar *Agile ALM* [13], [14].
- *Diseño para fallas*: como consecuencia de la partición de la aplicación en pequeños servicios, la gestión de fallas es requerida. Así como las pruebas basadas en sistemas de inducción de errores, el sistema debe ser resiliente, permanecer en funcionamiento aún en presencia de fallas.

Microservicios vs SOA

Acorde a lo expuesto en la sección 3, los microservicios cumplen con los dos primeros dogmas planteados para SOA: límites explícitos y servicios autónomos. Sin embargo, los microservicios no necesitan establecer contratos o esquemas explícitos, ya que usan mecanismos ligeros de comunicación, evitando el uso de infraestructura compleja de transporte, así como tampoco necesitan exponer políticas esquematizadas de uso, sino interfaces públicas publicadas [15]. Por

otro lado, la convención de completa automatización no es requerida en SOA, donde es más valorado la orquestación de servicios basada en infraestructura especial, que automatizar la vida completa de cada servicio.

Con lo anterior, es evidente que los últimos dos dogmas de SOA no son estrictamente seguidos, rompiendo con la idea general de microservicios como un subconjunto de SOA, en esta misma línea, la madurez de la idea ha llevado a la creación del manifiesto reactivo en 2014 [6], [16], afirmando que los sistemas de software modernos deben ser: responsivos, resilientes, elásticos y asíncronos.

Dada las definiciones de microservicios en la sección A, es observable cómo este estilo arquitectónico es compatible y parece estar soportado en el manifiesto reactivo, planteando además el hecho de que los microservicios están basados en programación reactiva [17] – [18], contrario al principal paradigma de programación en SOA, la programación imperativa, más centrada en la representación de estados [19].

Investigación centrada en microservicios

En [20], [21] son planteados estudios de mapeo sistemático en arquitecturas de *software* basadas en microservicios, concluyendo que la investigación centrada en estas arquitecturas está apenas comenzando, argumentando además una gran brecha entre el contexto industrial y la academia. A pesar de esto, existe un interesante número de trabajos académicos que proponen y/o validan esquemas arquitectónicos que hacen uso de microservicios, de los cuales se describen, a continuación, los más relevantes.

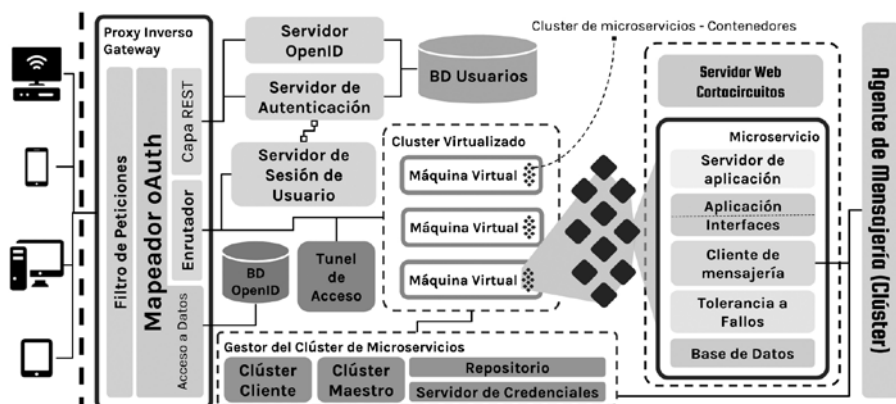
En [22], [23] son presentadas estructuras simples y flexibles para la implementación de microservicios, en [24] - [26] son descritas y validadas arquitecturas basadas en microservicios contextualizadas sobre proyectos específicos, dos de ellos asociados con el Internet de las Cosas (en adelante IoT, por sus siglas en inglés). Finalmente, en [27], [28] son documentados modelos asociados a taxonomías y topologías en el contexto de microservicios, tomando como base escenarios de mediación, enrutamiento, comunicación y gestión de servicios.

Dadas las conclusiones argumentadas en [20], [21], y el resultado del estado del arte generado en el presente artículo, es posible afirmar que gran parte de las investigaciones en microservicios presentadas hasta el momento han sido relevantes para establecer principios de adopción y un marco de trabajo sólido para esta tecnología, sin embargo, es destacable la ausencia de estudios que presenten arquitecturas de referencia completas para el despliegue de soluciones de *software* basadas en microservicios.

Arquitectura de referencia

La Fig. 2, presenta un diseño arquitectónico para desplegar soluciones tecnológicamente heterogéneas, este esquema tiene en cuenta los requisitos operativos base del concepto de microservicios: autenticación, seguridad, automatización, tolerancia a fallas, reactividad, *virtualización* y *contenerización* de servicios.

Fig. 2
Arquitectura de referencia basada en microservicios



Proxy inverso - Gateway

Es un tipo de servidor que recupera recursos en nombre de un cliente, desde uno o más servicios detrás de él, estos recursos se devuelven al cliente como si fueran originados en el proxy, actuando como intermediario para que sus servidores internos sean contactados por cualquier cliente. Igualmente, está encargado de soportar la estrategia de identificación/autenticación basada en Tokens y OAuth [29], [30]. En este caso, OAuth no debe asociarse con procesos de *identificación* o *autorización*, sino a *delegación*, donde a partir de una estrategia de autenticación, el sistema aprueba el acceso a cada microservicio sin la necesidad de compartir credenciales confidenciales.

En un flujo normal, cualquier petición entrante es revisada en el filtro de peticiones, evitando ataques de inyección de código malicioso, y permitiendo la segura extracción de la información de identificación (Token), en el mapeador OAuth es comparada la información existente con un OpenID Token previamente almacenado en la base de datos de OpenID (base de datos de rápido acceso almacenada en memoria), un concepto extraído de la especificación OpenID Connect Core 1.0 descrita en [31], se comporta como un portador de la información esencial de cada sesión de usuario usando el formato *JSON Web Token* (en adelante JWT) [32] para estructurar los datos de la misma.

Si en el mapeador oAuth no existe ninguna coincidencia entre la información de identificación y un openID Token existente, la petición será redireccionada al servicio de sesión de usuarios, donde basada en el servidor de autenticación y el servidor de OpenID, será validada y mapeada la nueva sesión, finalizando con una nueva redirección al recurso solicitado en la petición original, inyectando además los datos del openID Token en una cabecera HTTP en dicha petición. De esta forma, cada microservicio podrá acceder de forma rápida a la información esencial de cada sesión, pudiendo controlar políticas especiales de acceso y autorización desde su misma implementación.

Clúster virtualizado

Es una agrupación de servidores *virtualizados* automáticamente generados y aprovisionados por el *gestor del clúster de microservicios*, cada máquina virtual alberga un sistema de contenedores que dan vida a cada microservicio y soportan la demanda heterogénea de tecnología definida por cada responsabilidad en el servicio asociado. Dado que su ciclo de vida y gestión de recursos *hardware* es más ligera y configurable, la *contenerización* es la base para el rápido despliegue y composición de servicios en términos de infraestructura y aprovisionamiento.

Cada microservicio posee un sistema de enrutamiento y corto circuito basado en un servidor web ligero, que tiene interfaces públicas sólo accesibles desde el clúster mismo y el *proxy inverso*. Cada petición previamente enrutada sobre este clúster tendrá la información de usuario completa haciendo uso de su *openID Token* por lo que la responsabilidad de autorización será de cada microservicio y sus políticas de acceso.

Finalmente, un microservicio posee su propia capa de acceso de datos junto a su base de datos, además posee un sistema de detección interna de fallas para el condicionamiento de uso, un cliente para conectarse al *agente de mensajería* y toda la capa de lógica y despliegue de su aplicación basada en su responsabilidad.

Agente de mensajería

Soporta la comunicación interproceso (en adelante IPC, por sus siglas en inglés) habilitando el intercambio asíncrono de información y el comportamiento reactivo entre cada microservicio, este sistema es la base para la suscripción de eventos, llamadas a procedimientos remotos y encolamiento de mensajes. Su funcionamiento conceptual está fundamentado en la apertura de canales de comunicación que proveen la asistencia para colas y sistemas de intercambio de información basados en protocolos seguros de comunicación.

Gestor del clúster de microservicios

Se encarga de aprovisionar, gestionar recursos y orquestar el clúster de microservicios, de igual forma, posee un sistema de almacenamiento y acceso a configuraciones, credenciales y recursos, distribuido y replicado para cada máquina virtual, llamado *servidor de credenciales*. Finalmente, expone un *repositorio* de recursos para alojar, contenedores, librerías y contenido asociado al despliegue de los servicios proveídos. Este sistema posee un cliente semilla que será necesario para tomar control de cada máquina virtual y contenedor, y en general, de cualquier recurso disponible para aprovisionar el clúster, teniendo de igual forma la responsabilidad de formar una red de comunicación basada en TCP/IP que soporte el descubrimiento y enlace de nuevos servicios en la red interna haciendo uso de un servidor de resolución de nombres de dominio.

Túnel de acceso

Es un sistema que se encarga de proveer un mediador como puerta de acceso a la red privada, diseñada para cada contenedor en el *clúster de microservicios*, habilitando esquemas de seguridad, encriptación, monitoreo y permisos. Este componente es fundamental para habilitar el proceso de entrega continua (en adelante CD, por sus siglas en inglés) en el desarrollo de la aplicación y la gestión remota de los microservicios por parte del equipo de desarrollo. La automatización del despliegue de nuevas versiones de implementación de cada servicio, generalmente dependen de sistemas de comunicación basados en SSH o similares, el túnel de acceso permite establecer este tipo de comunicación a través de protocolos seguros y *monitoreables*.

Trabajo en curso

El presente trabajo de investigación está siendo desplegado y validado como soporte a una plataforma multimedia sobre Televisión Digital interactiva (TDi) en el contexto de T-Learning -trabajo no abordado en el presente artículo-, sin embargo, en el proceso de diseño arquitectónico fue evidenciado que el esquema base de solución podría ser usado en la mayoría de escenarios de creación de aplicaciones *software* distribuidas, haciendo a la plataforma previamente mencionada, uno de los muchos contextos de validación de la arquitectura presentada.

Aquí se presenta un modelo arquitectónico que ya posee un prototipo -no presentado en este artículo- que tiene implementados microservicios encargados de la gestión de usuarios y la manipulación de flujos multimedia, con estos se han definido tecnologías base y experiencias que han ayudado a mejorar los

componentes arquitectónicos descritos, dando resultado a una arquitectura estable que seguirá evolucionando en el corto plazo.

Durante el diseño arquitectónico del presente trabajo y la adaptación de procesos de construcción de *software*, tales como pruebas automatizadas, monitoreo, gestión de fallas y entrega continua, ha sido inicialmente evidenciado que el equipo de trabajo requiere una gran cantidad de esfuerzo y conocimiento preliminar para apropiarse de una manera correcta la construcción de microservicios. Equipos poco experimentados sin una metodología de desarrollo de *software* madura, difícilmente podrán lograr implementar de forma estable un diseño arquitectónico basado en microservicios.

Martin Fowler en [33],[34] argumenta que los microservicios no son un buen marco de solución a productos o servicios de *software* que estén basados en dominios de negocio inmaduros, debido a que los microservicios requieren desde el principio de su implementación, un esfuerzo considerable en procesos de despliegue distribuidos (aprovisionamiento, versionamiento, pruebas, fallas, comunicación, invocación, automatización) que contrastados con el diseño de aplicaciones convencionales (no distribuidos), ya se encuentran totalmente resueltos. Para Fowler, en un modelo de negocio inmaduro no se puede predecir cómo va escalar la solución y qué requerimientos tecnológicos son necesarios a futuro, por lo que la mejor propuesta para proyectos jóvenes en madurez es empezar con una filosofía monolítica que permita validar rápidamente el contexto del negocio y apropiarse lentamente conceptos y procesos orientados a microservicios en la medida que el proyecto madure.

Conclusiones

El estilo arquitectónico basado en microservicios, propone en esencia una evolución disruptiva a SOA, su predecesor más importante. El concepto de microservicios está madurando acorde al dinamismo de la realidad en el desarrollo de *software*, centrándose mucho más en el comportamiento reactivo y demandante que exponen los problemas modernos de las aplicaciones.

Con un diseño arquitectónico basado en microservicios, las aplicaciones que por naturaleza son distribuidas, son despegadas con una base más natural a su comportamiento, el cual involucra tecnologías diversas tanto en procesamiento, lógica y almacenamiento de información.

La arquitectura de referencia presentada, en resumen, reorganiza la forma de desplegar software, utilizando y combinando componentes maduros como OAuth, servidores IPCs, *virtualización* y *contenerización* para dar solución básica

al escenario de construcción de aplicaciones modernas con tendencia a crecer aceleradamente cuyas consecuencias fueron analizadas en la sección 2.

Referencias

- [1] Personal Insights, (s.f). *Global social media research summary* [En línea] Disponible en: <https://goo.gl/69Krbx>
- [2] KPCB, (2016) *Internet Trends* [En línea] Disponible en: <https://goo.gl/Uagq82>
- [3] Richards, Mark, *Software Architecture Patterns* [en línea] Disponible en: <http://www.oreilly.com/programming/free/files/software-architecture-patterns.pdf>
- [4] Mehdi, Mekni. Mounika, G. Sandeep C and Gayathri B, “Software Architecture Methodology in Agile Environments”. *J Inform Tech Softw Eng* 7: 195. doi: 10.4172/2165-7866.1000195 (2017).
- [5] Richardson, Chris. *Pattern: Monolithic Architecture*, [en línea] Disponible en: <https://goo.gl/7JU1wq>
- [6] Łaskawiec, Sebastian, “The Evolution of Java Based Software Architectures”. Columbia International Publishing, *Journal of Cloud Computing Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1-17 (2016).
- [7] Nivoit, Jean-Baptiste, “Issues in Strategic Management of Large-Scale Software Product Line Development”. [en línea] Disponible en: <https://ic3.mit.edu/sites/default/files/documents/2013-08.pdf>
- [8] MacCormack, Alan. Rusnak, John. Baldwin, Carliss., “Exploring the Duality between Product and Organizational Architectures: A Test of the ‘Mirroring’ Hypothesis”. *Research Policy* 41:1309–1324, earlier Harvard Business School Working Paper 08-039 (2012).
- [9] Laskey, Kathryn. Laskey, Kenneth., “Service oriented architecture”. John Wiley & Sons, Inc. *WIREs Comp Stat* 2009 1 101–105 DOI: 10.1002/wics.8 (2009).
- [10] Microsoft. *Principles of Service Design: Service Patterns and Anti-Patterns* [en línea] Disponible en: <https://goo.gl/PSj6Qs>
- [11] Lewis, James, (2010). *Micro services - Java, the Unix Way – 33rd Degree Conference* [en línea] Disponible en: <https://goo.gl/BzXIFn>
- [12] Lewis, James; Flower, Martin. (2014). *Microservices, a definition of this new architectural term* [en línea] Disponible en: <https://goo.gl/W2FZkR>

- [13] Ebert, C. "Improving engineering efficiency with PLM/ALM". *Software & Systems Modeling* 12: 443. doi:10.1007/s10270-013-0347-3 (2013).
- [14] Aiello, Bob. Sachs, Leslie.: "Agile Application Lifecycle Management: Using DevOps to Drive Process Improvement". 1st edn. ISBN-13: 978-0321774101, (2016).
- [15] Fowler, Martin.: "Public versus Published Interfaces". *IEEE SOFTWARE*. DOI: 0740-7459/02 (2002).
- [16] J. Bonér, D. Farley, R. Kuhn, M. Thompson. *The Reactive Manifesto* [en línea] Disponible en: <https://goo.gl/Jh6X0c>
- [17] Salvaneschi G., Drechsler J., Mezini M.: "Towards Distributed Reactive Programming". In: De Nicola R., Julien C. (eds) *Coordination Models and Languages*. COORDINATION 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 7890. Springer, Berlin, Heidelberg (2013).
- [18] Maier, Ingo; Odersky, Martin: "Deprecating the Observer Pattern with Scala.React". EPFL-REPORT-176887 (2012).
- [19] Pascal, Emmanuel. Pagano, Manoury.: "Developing Applications With Objective Caml". O'reilly 1st edn. ISBN 2-84177-121-0 (2000).
- [20] N. Alshuqayran, N. Ali and R. Evans, "A Systematic Mapping Study in Microservice Architecture," 2016 IEEE 9th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA), Macau, 2016, pp. 44-51. doi: 10.1109/SOCA.2016.15
- [21] P. D. Francesco, I. Malavolta and P. Lago, "Research on Architecting Microservices: Trends, Focus, and Potential for Industrial Adoption," 2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), Gothenburg, 2017, pp. 21-30. doi: 10.1109/ICSA.2017.24
- [22] S. Hassan, N. Ali and R. Bahsoon, "Microservice Ambients: An Architectural Meta-Modelling Approach for Microservice Granularity," 2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), Gothenburg, 2017, pp. 1-10. doi: 10.1109/ICSA.2017.32
- [23] Keshab Katuwal. "Microservices: A Flexible Architecture for the Digital Age Version 1.0," *American Journal of Computer Science and Engineering*. vol. 3, no. 3, 2016, pp. 20-24.
- [24] V. D. Le et al., "Microservice-based architecture for the NRDC," 2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Cambridge, 2015, pp. 1659-1664. doi: 10.1109/INDIN.2015.7281983

- [25] J. Rufino, M. Alam, J. Ferreira, A. Rehman and K. F. Tsang, "Orchestration of containerized microservices for IIoT using Docker," 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Toronto, ON, 2017, pp. 1532-1536. doi: 10.1109/ICIT.2017.7915594
- [26] D.M. Batista, A. Goldman, R. Hirata, F. Kon, F. M. Costa and M. Endler, "InterSCity: Addressing Future Internet research challenges for Smart Cities," 2016 7th International Conference on the Network of the Future (NOF), Buzios, 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/NOF.2016.7810114
- [27] Richards, Mark: "Microservices vs. Service-Oriented Architecture", 1st edn. O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA95472 (2016).
- [28] Bonér, Jonas: "Reactive Microservices Architecture", 1st edn. O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA95472 (2016).
- [29] Jones, M. Hardt, D.: The OAuth 2.0 Authorization Framework: Bearer Token Usage. ISSN: 2070-1721 (2012).
- [30] OAuth 2.0 Web Page, <https://goo.gl/hhjoIB>, último acceso 2017/07/01.
- [31] Sakimura, N. et al: "OpenID Connect Core 1.0". November 2014. <https://goo.gl/VvDQNo>, último acceso 2017/07/01.
- [32] Jones, N. et al (2015) *JSON Web Token (JWT) Profile for OAuth 2.0 Client Authentication and Authorization Grants* [en línea] Disponible en: <https://goo.gl/imISaH>
- [33] Fowler, Martin (2015) *Monolith First* [en línea] Disponible en: <https://goo.gl/NJwPB2>
- [34] Fowler, Martin (2015) *Microservice Premium* [en línea] Disponible en: <https://goo.gl/3hdPp0>

(SUBMISSION 112)

Tasks workflow board definición y representación visual del flujo de trabajo del tablero de tareas

EDWIN GAMBOA
Universidad del Valle
Cali, Colombia

MARYURY BARRERA DAZA
Corporación Universitaria Comfacauca
Popayán, Colombia

Resumen

La claridad respecto a los criterios que deben cumplirse para realizar un cambio de estado en un tablero de tareas en un entorno de desarrollo ágil, podría prevenir errores, confusiones y retrasos en el desarrollo de una iteración en el desarrollo de un proyecto. En este documento se propone como práctica ágil el uso del *Tasks workflow board*, como un artefacto de consulta para el equipo de desarrollo, que representa de forma visual el flujo de trabajo del tablero de tareas. Este artefacto podría usarse en cualquier entorno de desarrollo ágil donde las tareas asociadas al proyecto sufran cambios de estado, además este podría ser adaptado a las necesidades propias del equipo de desarrollo. El artefacto propuesto se encuentra en desarrollo y su efectividad será evaluada en una etapa posterior.

Palabras clave: tasks workflow board, tablero de tareas, flujo de trabajo, prácticas ágiles, metodologías de desarrollo, artefacto ágil.

Introducción

En los últimos años la ingeniería de *software* ha sufrido grandes cambios en sus metodologías de desarrollo, ocasionados por la estructura laboral de las empresas, por los requerimientos de los clientes para sus productos de *software*, los presupuestos y tiempos ajustados. Dentro de estos cambios o tendencias se han desarrollado diversas metodologías acompañadas de un conjunto de prácticas ágiles, que hoy en día son adoptadas por las empresas enfocadas al desarrollo de *software*, de acuerdo a sus necesidades [1]. Esto ha facilitado y optimizado el trabajo en equipo y la entrega oportuna de los productos de *software*.

Las metodologías ágiles permiten gestionar los cambios de forma rápida y tener una mejor comunicación con el cliente, dentro de las más conocidas está eXtreme Programming (en adelante XP, por sus siglas en inglés) [2] y Scrum [3], siendo esta última la de más aceptación [1]. Dentro de estas metodologías se evidencia en algunas de sus fases, la asignación de tareas, a las cuales se les establece un responsable, y una estimación de tiempo de desarrollo [3], [4], pero no es claro qué otras condiciones o criterios diferentes de la fecha de entrega asignada deben cumplirse para que la actividad pueda considerarse como *finalizada*. Teniendo en cuenta este escenario, en este artículo se propone una práctica ágil, que consiste en el uso de un artefacto que permite representar el flujo de trabajo de las tareas asignadas al equipo de desarrollo. Haciendo énfasis en la definición de los criterios que deben cumplirse para realizar un cambio de estado de una tarea. Esta propuesta surge en el entorno de desarrollo ágil del proyecto investigación *Playtherapy: videojuego de apoyo a terapias de recuperación física* (2913) de la Universidad del Valle.

En la sección II se presentan algunos trabajos relacionados con el artefacto propuesto en este artículo. A continuación, en la sección III se presenta el artefacto propuesto, sus características, uso y forma de construcción. Finalmente, en la sección IV se presentan algunos comentarios finales sobre el artefacto y el trabajo futuro.

Trabajos relacionados

En [5] se presenta una revisión de literatura sobre técnicas de visualización de información usadas por equipos ágiles de desarrollo de *software*. En este se concluye que las técnicas de visualización incrementan el intercambio de co-

nocimiento y conciencia que el equipo tiene del *software*. Además, se destacan algunas ventajas de los artefactos gráficos físicos, como ayudan a preservar el panorama general del proyecto, permiten a los desarrolladores ver la información más importante con un esfuerzo mínimo, son una manera de obtener retroalimentación cuando ocurre la integración del proyecto, entre otros. Adicionalmente, se proponen algunos aspectos clave que deben tener los artefactos destinados a proveer información. Estos deben ser visibles, valiosos para los desarrolladores o clientes, fáciles de actualizar y de comprender. También deben mostrar información actual y específica. Respecto al tablero de tareas, se destaca como una técnica de visualización imprescindible para entender el progreso del proyecto y detectar las posibilidades de mejora.

En [6] se presenta el proceso de transición de un tablero de tareas físico a uno electrónico. En relación con la práctica ágil propuesta en este artículo, cabe resaltar que el uso de los tableros de tareas físicos sigue siendo relevante, ya que estos tableros permiten una interacción superior, debido a que mejora el aprendizaje de los integrantes del equipo; también se sugiere que antes usar una herramienta electrónica se debe tener disciplina, entrenamiento y constante actualización con los tableros físicos. Por lo tanto, el artefacto propuesto en este trabajo puede adoptarse como una práctica ágil, inicialmente en formato físico, y después podría usarse de forma digital.

En [7] se describe la creación y evolución de dos tableros de tareas en dos casos específicos. Este artículo permite evidenciar la importancia de que los tableros de tareas se construyan basados en los procesos llevados a cabo por cada equipo. En este sentido, se resalta la facilidad que brinda el formato físico para adaptar un tablero de tareas a las necesidades actuales. Adicionalmente se argumenta que un tablero de tareas visible, que permita ver claramente el trabajo que se desarrolla, juega un papel importante en la mejora de procesos.

Finalmente, las prácticas ágiles son procesos que se aplican dentro de una metodología de desarrollo ágil que permiten realizar una mejor planeación y ejecución de un proyecto de *software*, la entrega oportuna de los productos de mejor calidad, mejor comunicación y satisfacción del cliente. Algunas prácticas ágiles tienen relación directa con el flujo de trabajo de las tareas, pues algunas de estas intervienen en el proceso de modificación de estado de una tarea; y el uso de determinadas prácticas podría representar un criterio de cambio de un estado a otro. A continuación se describen las prácticas que tienen relación con el flujo de trabajo de las tareas:

- *Reunión diaria*: esta práctica se realiza con todo el equipo de desarrollo, donde se hace una retroalimentación de las actividades que realiza cada persona con el fin de analizar el estado del proyecto. La duración y lugar de la reunión se

definen en la primera reunión de inicio del proyecto o durante la iteración cero [8]. Durante la reunión diaria se puede visualizar el tablero de tareas, el cual puede sufrir modificaciones. Por lo tanto, la claridad respecto a los criterios de cambio de estado de tareas sería de gran utilidad.

- *Tablero de tareas*: el tablero de tareas consiste en colocar las historias de usuario de la iteración o *sprint* actual en una columna. A partir de esta se colocan nuevas columnas que indican los estados que pueden tener las tareas asociadas con la historia de usuario [3]. El equipo se reúne alrededor de él todos los días y toma el trabajo que necesitan para lograr el objetivo del tablero [4].
- *Pruebas*: las historias de usuario deben ser probadas ya sea que pasen o fallen las pruebas, estas se realizan antes de que se cierre o complete la historia durante el desarrollo. Se realizan con el fin de verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos por el cliente y los criterios de aceptación (relacionados con las condiciones de satisfacción) [4].
- *Integración continua*: permite que miembros de un equipo o diferentes equipos puedan integrar su trabajo con tanta frecuencia como sea posible. Para esto se realizan las pruebas unitarias y su código asociado se construye en paralelo [4], [9].
- *Refactorización*: Esta técnica permite modificar el código fuente sin alterar su comportamiento; se hace con el fin de perfeccionar el código y se ha utilizado como una práctica ágil en los proyectos de desarrollo ágiles [9].

Tasks workflow board

Las prácticas ágiles por su naturaleza ofrecen a los equipos de desarrollo configurar el entorno de trabajo, de tal forma que este se adapte a las necesidades propias del proyecto en desarrollo, las personas que integran el equipo, las herramientas disponibles, entre otros. El conjunto de prácticas adoptadas reflejará el flujo de trabajo que se debe cumplir a lo largo de cada iteración. Por lo tanto, la claridad respecto a las prácticas adoptadas por el equipo de desarrollo es de vital importancia; esto podría prevenir confusiones, equivocaciones o retrasos. La selección de dichas prácticas generalmente ocurre durante la Iteración Cero [8] y puede cambiar a lo largo del proceso de desarrollo, por ejemplo tras una reunión de retrospectiva.

Como se describió en la sección II una de las prácticas ágiles más utilizadas es el *tablero de tareas*, este refleja el estado actual del proyecto para una determinada iteración en todo momento. El tablero está compuesto por un conjunto de co-

lumnas que reflejan los estados por los cuales puede pasar una tarea asociada a una historia de usuario. Estos estados son definidos por el equipo de desarrollo, sin embargo, es necesario precisar los criterios que se deben cumplir para que una tarea pueda cambiar de un estado a otro. Para que los miembros del equipo puedan conocer estos criterios de forma clara, resulta crucial, dado que el tablero de tareas se actualiza cada vez que una tarea sufre un cambio de estado. Además, el tablero de tareas puede apoyar el proceso de toma de decisiones permitiendo, entre otras cosas, monitorear el progreso de la iteración, cuellos de botella, dependencias entre tareas, necesidades actuales y responder al cambio [10], [11]. Por lo tanto, la fiabilidad del mismo juega un papel importante.

Con el objetivo de facilitar la claridad respecto los criterios de cambio de estado de tareas, se propone el artefacto *tasks workflow board*, como una herramienta visual para usarse como complemento del ya conocido *tablero de tareas*. Los aspectos más relevantes del artefacto y su uso como práctica ágil se describen a continuación:

- *Propósito*: reflejar el flujo de trabajo que presenta un tablero de tareas en un determinado equipo ágil. Representa los criterios, los involucrados y las herramientas que intervienen en el proceso de cambio de estado de una tarea asociada a una historia de usuario.
- *Construcción*: se sugiere construirlo durante la iteración cero, este proceso se describe de forma detallada en la subsección B.
- *Actualización*: puede ser actualizado en cada repetición, por ejemplo en una reunión de retrospectiva o incluso una de planeación de la iteración. Su actualización depende de los requerimientos del equipo de desarrollo.
- *Participantes*: el equipo de desarrollo completo participa en la construcción del mismo.

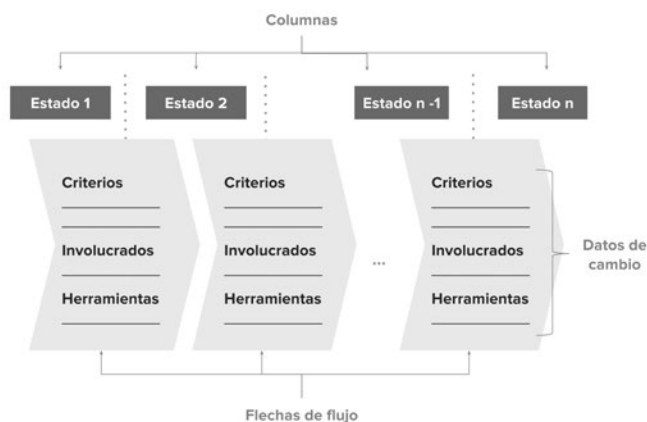
Elementos del *tasks workflow board*

Con el objetivo de cumplir el propósito descrito anteriormente, es necesario que *tasks workflow board* refleje los estados por los que puede pasar una historia de usuario o una tarea, la dirección del flujo, las personas involucradas, los criterios y las herramientas necesarias para llevar a cabo dicho cambio. Para esto el artefacto cuenta con tres elementos que se muestran en Fig. 1 y se describen a continuación:

- *Columnas de Cambio*: representan los estados por los cuáles puede pasar una tarea, corresponden a las mismas columnas del tablero de tareas.

- *Datos de Cambio*: datos asociados al cambio de estado. Estos pueden ser definidos por el equipo de desarrollo. Inicialmente se proponen los siguientes datos:
- *Involucrados*: este dato es opcional y corresponde a miembros del equipo o stakeholders que intervengan en el cambio de estado. Adicionalmente, se sugiere indicar el rol que cumple dicho involucrado en paréntesis. Un ejemplo podría ser: líder de desarrollo (aprueba).
- *Criterios*: este dato es obligatorio y define los criterios acordados por el equipo, que se deben cumplir para que una tarea pueda cambiar de un estado a otro. Por ejemplo: el código se encuentra en la rama de prueba del repositorio del proyecto.
- *Herramientas*: este dato es opcional e indica las herramientas definidas por el equipo que intervienen el proceso de cambio de estado. Por ejemplo: El gestor de versiones del proyecto.

Fig. 1
Elementos del *tasks workflow board*



Flechas de dirección de flujo: indican la dirección en la que deben ser aplicados los criterios de cambio de estado. Es decir que se contempla la posibilidad de que una tarea pueda ser regresada a un estado anterior, moviéndola de derecha a izquierda.

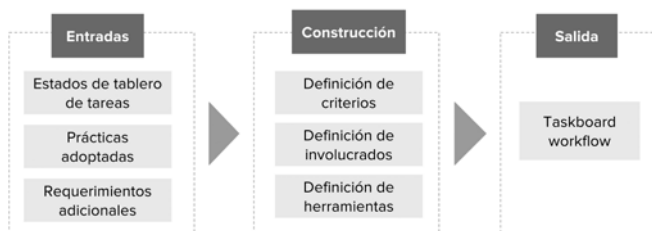
Proceso de construcción

El proceso de construcción ocurre durante la iteración cero, se sugiere que participe todo el equipo de desarrollo, ya que aquí se seleccionarán los criterios que deben cumplir todos los miembros del equipo, cuando deseen realizar un

cambio de estado de una tarea. Este proceso se presenta de forma general en la Fig. 2. La construcción del *tasks workflow board* requiere las siguientes entradas:

- *Estados o columnas del tablero de tareas*: debido a que las columnas del tablero de tareas representan los estados del *tasks workflow board*, es necesario que estas ya se encuentren definidas para así determinar los datos asociados a cada cambio de estado.
- *Prácticas adoptadas*: son el conjunto de prácticas que ha decidido adoptar el equipo para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. Permitirán determinar datos relacionados con los cambios de estado. Algunos ejemplos de prácticas que podrían ser relevantes se presentaron en la sección 2.
- *Requerimientos adicionales*: se trata de requisitos o restricciones propias del equipo de desarrollo, del modelo negocio o del entorno organizacional en el que se desarrolla el proyecto. Estos intervienen en el flujo de trabajo de las tareas y que deban ser tenidas en cuenta como criterios de cambio de estado. Por ejemplo: realización de informes, registro de información en una plataforma determinada, entre otros.

Fig. 2
Entradas y salida del proceso de construcción del *tasks workflow board*



El proceso de construcción inicia con la identificación de los valores que tomarán cada uno de los datos asociados a un cambio de estado. Para esto se sugiere iniciar con las dos primeras columnas del *tasks workflow board*:

- Seleccionar las prácticas que pueden participar en el cambio de estado entre dichas columnas
- Determinar criterios que se deban cumplir de acuerdo a las prácticas seleccionadas
- Identificar criterios que sean necesarios y que no han sido representados por las prácticas. Estos criterios pueden resultar de la experiencia del equipo y de los requerimientos adicionales.
- Identificar involucrados con sus roles y herramientas requeridas por los criterios.

- Realizar el mismo proceso con cada par de columnas o estados.

Es importante resaltar que el artefacto propuesto asume que los cambios de estado se dan entre columnas contiguas. De esta forma el proceso descrito anteriormente cubre todos los cambios de estado necesarios. En la Fig. 3 se presenta un ejemplo simple de un *tasks workflow board*. Este ejemplo es una simplificación que permite observar todos los elementos del artefacto de forma legible. Para este caso, todo el flujo se da de forma secuencial de izquierda a derecha. Sin embargo, este ejemplo podría ser extendido, añadiendo una nueva flecha que vaya desde *Listo para Pruebas* a *En Codificación*; esta flecha presentaría los criterios bajo los cuales una tarea debe devolverse a codificación, por ejemplo, que todos los errores encontrados se registren en la herramienta de gestión del proyecto. Esa nueva flecha no se incluyó en la imagen, para no afectar su legibilidad.

Fig. 3
Ejemplo de un *tasks workflow board* construido



Conclusiones

El *tasks workflow board* es un artefacto de consulta que podría aportar en el aseguramiento de la calidad respecto al flujo de trabajo que debe suceder en el tablero de tareas, ya que este representa de forma visual los criterios involucrados y herramientas que intervienen en un proceso de cambio de estado de una tarea en dicho tablero.

El uso del *tasks workflow board*, como práctica ágil, resultaría en un proceso claro para definición de criterios de cambios de estado de las tareas asociadas a las historias de usuario del proyecto. En este sentido no reemplazaría ningún

artefacto o práctica ágil existente, sino que complementaría los ya usados durante el desarrollo del proyecto, tales como el tablero de tareas o la reunión diaria. Por lo tanto, puede ser usado en un entorno de desarrollo ágil existente sin afectar de forma crítica el desarrollo del proyecto y sin implicar el uso de una metodología ágil en particular.

El *tasks workflow board* es un artefacto que se pretende sea adaptable, ya que se ajusta a los estados definidos por el equipo de desarrollo y además permite ser extendido o modificado respecto a los datos asociados a un cambio de estado. Adicionalmente, considera cambios de estado en ambas direcciones.

Una limitación que se ha identificado es el hecho de que se asume que un cambio de estado sólo ocurre entre columnas contiguas en el tablero de tareas. Para casos en los que no se cumpla esta condición, es necesario identificar una representación visual adicional. Sin embargo, primero se debe identificar la relevancia de un cambio de estado como este.

Como trabajo futuro resulta importante validar el uso del *tasks workflow board* en un ambiente real de desarrollo, con el objetivo de identificar ventajas y desventajas del artefacto y su uso como práctica ágil, para así mejorarlo de forma continua. Esto permitiría además, identificar el impacto en tiempo del uso del artefacto. Una vez se considere el artefacto como viable, sería importante poder diseñar una herramienta de software que permita implementar la práctica. Este proceso de validación se realizará en el marco del proyecto *Playtherapy: videojuego de apoyo a terapias de recuperación física* (2913) de la Universidad del Valle, en el cual surgió esta propuesta.

Referencias

- [1] Inc., V. (2016) *The 10th annual state of agile report*. Tech. rep., VersionOne Inc [en línea] Disponible en: <http://www.agile247.pl/wp-content/uploads/2016/04/VersionOne-10th-Annual-State-of-Agile-Report.pdf>
- [2] Letelier, P, Penadés, M.d.C.: *Métodologías ágiles para el desarrollo de software: extreme programming (xp)*. Técnica Administrativa 05(26) (2016).
- [3] Green, M.D.: *Scrum: Novice to Ninja: Methods for Agile, Powerful Development*. Site Point (2016).
- [4] Rubin, K.S.: *Essential Scrum: A practical guide to the most popular Agile process*. Addison-Wesley, 2012.

- [5] Paredes, J., Anslow, C., Maurer, F., “Information visualization for agile software development”. en: *Second IEEE Working Conference on Software Visualization*. (Sept 2014) pp. 157–166
- [6] Perry, T.: “Drifting toward invisibility: The transition to the electronic task board,” en: *AGILE*, Toronto – Canadá, 2008.
- [7] Hajratwala, N.: “Task board evolution”. en: *2012 Agile Conference*. Dallas, Texas – USA, 2012. pp. 111–116.
- [8] Grenning, J.W.: “Agile requirements, estimation and planning–iteration zero” en: *Embedded Systems Conference*. San Jose, Boston-USA, 2010, pp. 1-25 XXX.
- [9] Keith, C, *Agile Game Development with Scrum*. Addison-Wesley Signature Series (Cohn), Pearson Education (2010)
- [10] Wells, D. (2013) *Extreme programming: A gentle introduction* [en línea] Disponible en: <http://www.extremeprogramming.org/>
- [11] Fitsilis, P. Comparing pmbok and agile project management software development processes. In: Sobh, T. (ed.) *Advances in Computer and Information Sciences and Engineering*, pp. 378–383. Springer Netherlands, Dordrecht (2008), dOI: 10.1007/978-1-4020-8741-7 68.

(SUBMISSION 150)

Fundamentos matemáticos para el modelado y la simulación de la proliferación celular

ALBA LORENA SILVA SILVA

JULIO ARIEL HURTADO ALEGRÍA

JULIÁN ANDRÉS ZÚNIGA

Grupo IDIS y SENUMA, *Universidad del Cauca*
Popayán - Colombia

Resumen

Modelos mecánicos y teóricos inspirados en las características geométricas y topológicas presentes durante la formación de tejido, han proporcionado a los biólogos nuevas formas de interpretar la dinámica celular. De acuerdo con el modelo seleccionado para representar el tejido celular, se determina el conjunto finito de elementos y restricciones que permiten simular e interpretar la dinámica de la proliferación celular. Los modelos que han sido formulados, hasta donde sabemos, han considerado un espectro limitado de reglas y condiciones de división celular. Así, cada investigación ha creado modelos específicos de simulación. Esta situación hace que el esfuerzo de programar los modelos computacionales sea alto y su espectro de utilidad bajo. En este artículo se presentan dos modelos de proliferación celular inspirados en esta formulación, y que tienen por objetivo implementar un marco de desarrollo reutilizable que busca reducir el esfuerzo de implementar un modelo de simulación de la proliferación epitelial. Este marco debe considerar diferentes reglas de división celular, representaciones y condiciones para la topología del tejido. Sobre estas consideraciones se han identificado algunos aspectos relevantes y se ha logrado una simulación inicial de tipo exploratorio. Los resultados preliminares han permitido identificar algunas recomendaciones para modelar la división celular.

Palabras clave: computación de la división celular, topología celular y geometría celular.

Introducción

Una variedad de fenómenos en biología del desarrollo involucra interacciones celulares, particularmente procesos de división celular como la *mitosis* [1], la cual incide en la configuración del tejido celular, alterando su organización una vez ha ocurrido la división, dicho fenómeno se puede modelar desde el contexto matemático. Se ha observado que en la reconfiguración de un tejido inter-vienen elementos genéticos, físicos y espaciales de las células [2]. En este artículo, se analizan dos modelos matemáticos de proliferación celular, con el fin de facilitar el desarrollo de modelos de simulación.

Considerando el proceso de mitosis, desde una perspectiva geométrica y topológica, se ha identificado un conjunto de reglas de división y reorganización celular, las cuales permiten representar una célula en proceso de mitosis, utilizando principios geométricos básicos como el *plano de separación*, y describir la reconfiguración del tejido al incorporar la descendencia celular con principios topológicos. Basados en modelos bidimensionales de representación del tejido celular, y en un conjunto de condiciones de división, se ha formulado un marco de trabajo teórico; desde el que se han analizado algunos aspectos relacionados con la representación y dinámica celular.

El resto de este artículo se ha organizado de la siguiente forma: la sección II presenta el marco conceptual general y los trabajos relacionados que abordan el problema de la representación de la proliferación celular, la sección III presenta dos modelos matemáticos y una simulación como caso exploratorio. La sección IV presenta las conclusiones, limitaciones y el trabajo futuro.

Trabajos relacionados

Para obtener un normal desarrollo de los tejidos, la proliferación celular debe ser regulada; el continuo control de la misma conduce a la formación de patrones característicos en el tejido. El reordenamiento celular y la orientación del plano separación, previo al proceso de *mitosis celular*, inciden de forma directa en la configuración de formas celulares específicas. Poder modelar estos procesos dinámicos mediante esquemas geométricos y topológicos ha generado un profundo interés desde 1928, cuando el biólogo F.T. Lewis [3] documentó la conexión entre la proliferación celular y la topología del tejido, a través de las observaciones sobre la epidermis del pepino, en las cuales se hizo notorio que la

forma de una célula se puede caracterizar mediante el número de células que la rodean en su vecindario primario, adicionalmente, después de la mitosis, estas formas celulares se reproducen en proporciones similares al tejido original. Esta nueva formulación teórica de Lewis generó un amplio interés por comprender los mecanismos subyacentes, durante el ciclo celular, los cuales permiten al tejido reconfigurarse después de un proceso de mitosis. Esta nueva perspectiva teórica ha generado dos líneas de estudio denominadas *geometría* y *topología celular*.

La *geometría celular* hace referencia a la forma y el tamaño de la célula, donde la forma celular está determinada por el número de células que la rodea, el tamaño considera propiedades geométricas como la longitud de los lados, medidas angulares, plano de separación, eje mayor, entre otras. De otro lado, la *topología celular* considera la conectividad celular, cuantifica la distribución de células vecinas dentro de un tejido, considera los cambios en la configuración de las uniones celulares después de una secuencia de división celular.

Los informes de investigación sobre geometría y topología celular presentados por Gibson, sustentan que en los procesos de proliferación, reordenamiento y topología celular intervienen simultáneamente aspectos genéticos, geométricos y físicos; modelos geométricos, modelos físicos, modelos genéticos y físicos. Modelos físicos y geométricos han sido desarrollados para comprender el equilibrio topológico durante la proliferación del epitelio [2]; se expone a continuación una reseña de algunas investigaciones sobre el tema, resaltando el enfoque del modelo presentado.

Tal como fue anotado anteriormente, la caracterización de las formas celulares se inicia con el estudio clásico de F.T. Lewis, publicado en 1928 [4] y sustentado en las observaciones de las configuraciones celulares presentes en tejidos vegetales, en especial en la epidermis del pepino (*cucumis sativus*); los estudios de Lewis generaron investigaciones que utilizan modelos geométricos bidimensionales para las células en tejidos indiferenciados tales como parénquima y meristemo, que fueron presentados hacia finales de la década del cuarenta y primer lustro de los cincuenta.

El *modelo de Korn y Spalding* es otro modelo geométrico que permite simular el reordenamiento y crecimiento de un tejido articulado a reglas y patrones de división celular descritos en las investigaciones de Korn, y a su vez está fundamentado en los trabajos de Lewis, Matzke y Flint, Matzke, Duffy, I Matzke; en cada uno de estos estudios se presenta una descripción estática de la variabilidad de las formas celulares con escasa argumentación de la misma [5].

El *modelo Brodland y Veldhuis* [6] muestra cómo la mitosis, la forma celular y la reorganización epitelial son mutuamente dependientes; la estructura y los

patrones de orientación celular durante la mitosis con y sin crecimiento de las células hijas, son considerados por este modelo físico que aplica tensiones para la reorganización del tejido y la orientación de esas tensiones para el plano de separación. El modelo sustenta que la mitosis, con una adecuada alineación de los planos de separación, conduce la reorganización epitelial; en este modelo el plano de separación es seleccionado normal al eje mayor celular, la división celular es caracterizada mediante la adición de un plano de separación a través de la célula y el crecimiento celular por medio de fuerzas de tensión [6].

El *modelo vértice* presentado por Farhadifar *et al* [7], cuenta cualitativa y cuantitativamente el empaquetado geométrico celular al observar el desarrollo del ala de la *Drosophila*. Este modelo permite concluir que el empaquetado geométrico celular es una consecuencia de las propiedades físicas de la célula y que la eliminación de células durante la proliferación celular es el resultado del balance de fuerzas en las uniones de las células epiteliales. El estudio también muestra que la alteración del empaquetado geométrico puede dar origen a tejidos defectuosos [7].

Los estudios en matemática aplicada de Duvdevani-Bar y Segel [8] presentan un *modelo topológico* para una variedad de fenómenos en biología del desarrollo como división, apoptosis, crecimiento, desplazamiento celular, entre otros, los cuales involucran interacciones entre las células del vecindario. Este enfoque sugiere que la representación de un sistema celular puede ser esquematizada por un grafo plano y su estructura dual, un mapa geométrico plano; en él, los vértices son las células, y las células adyacentes a éstas son representadas por los lados del grafo. La representación dual es un conjunto finito de paquetes cerrados de n -grados centesimales, $n > 3$, en el cual cada grado representa una célula individual y las conexiones entre las células están representadas por un polígono de n lados.

Las siguientes son las reglas a seguir para simular el proceso de división: el modelo supone que la división ocasiona la formación de un par de nuevas células hijas, ubicadas de forma simétrica que se expresa a través de la formación de dos células hijas con formas y tamaño casi congruentes; a su vez la orientación de la división está determinada por dos de las células vecinas; el modelo asume que la división sólo puede ocurrir entre dos vecinas que no son adyacentes entre sí. Una vez se realiza la transformación de células a polígonos, se asume que la división solo puede ocurrir entre lados, es decir, no se acepta la posibilidad que la división pueda tener lugar en los terminales de los lados (de una esquina a otra). Para la división celular C , se seleccionan dos células no adyacentes: la cabeza y la cola celular; con el objeto de lograr un proceso de división simétrico, en primera instancia se selecciona un vecino de la célula C como la cabeza celular,

y la cola es elegida entre todos los vecinos restantes de la célula en mitosis que no son adyacentes a la cabeza celular, condicionada a generar la mejor división simétrica de la célula en dos células hijas; se observa que la demanda para dos vecinos no adyacentes puede ser solucionada solo si $n > 3$ [8].

El *modelo Gibson* utiliza modelos computacionales, observación experimental y análisis matemático, para reportar que las formas celulares vecinas influyen fuertemente en la orientación del plano de separación de las láminas de mono capas celulares tanto en plantas como en animales. Por otra parte, el modelo muestra que la regularidad estructural en el epitelio aumenta mediante el incremento de la frecuencia de los hexágonos; los análisis indican simultáneamente, que el plano de separación también está involucrado en la especificación del cambio mitótico. El mecanismo a través del cual el plano de separación tiende a lograr estos efectos, está diferenciando el lado ganador, donde las células en división preferentemente separan sus lados comunes con células sub-hexagonales tales como cuadriláteros, y evitarán la división de los mismos con células súper hexagonales como octógonos. En síntesis, los resultados presentados en este modelo, sugieren un mecanismo emergente común, tanto en tejidos vegetales como animales, para el control de la arquitectura a nivel de tejido, mediado por el control del empaquetamiento celular sobre plano de separación mitótica [4].

En varios de los modelos presentados, se resalta la implementación de simulaciones y contrastación con datos experimentales en organismos modelos como la *Drosophila Melanogaster*, el *Cucumis Sativus*. En este proceso de exploración documental, es poco frecuente encontrar trabajos relacionados con tejido vegetal, sin embargo, en el modelo presentado por Alim *et al.* [9] muestra el papel regulador de las reglas de división celular en el crecimiento de tejido heterogéneo en tejido vegetal. Por tanto, más allá de la geometría y topología del tejido, las divisiones celulares afectan las dinámicas de crecimiento y que su forma esté incrustada en las estadísticas de crecimiento de los tejidos [9].

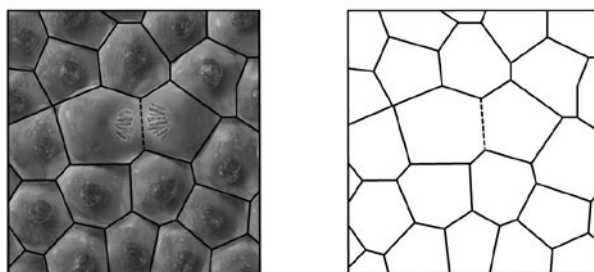
Marco de trabajo para la simulación de la proliferación celular (MT-SPC)

Marco conceptual

- *Representación del tejido celular*: en la revisión documental sobre trabajos de investigación relacionados con la proliferación celular, se resalta la elección de los esquemas de representación bidimensional para el tejido celular por la pertinencia en el modelamiento de la proliferación celular. Se presentan dos esquemas de representación que son de gran utilidad para entender este

tipo de dinámica celular: esquema de representación tipo malla geométrica y el esquema tipo grafo.

Fig. 1
Tejido celular y su malla geométrica equivalente



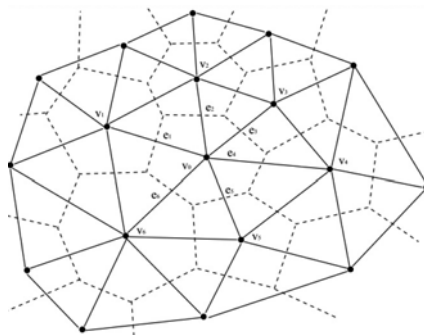
Como se exhibe en la Fig. 1, las mallas geométricas son esquemas de representación que se caracterizan por estar formadas por caras poligonales convexas (cuadriláteros, pentágonos, hexágonos, entre otros) que definen una superficie en el plano tal que, si t_i y t_j son dos elementos en una malla plana T , entonces:

$$t_i \cap t_j = \begin{cases} \emptyset & \text{cuando no existe conexión celular} \\ \text{arista} & \text{si las células son vecinas} \\ \text{cara} & \text{cuando } i = j \end{cases}$$

Los vértices v_i son concurrencias de las aristas celulares originadas por la unión de tres células vecinas, a su vez la conexión entre dos vértices está representando los lados de la célula, es decir; cada malla plana T tiene asociado un conjunto finito de polígonos convexas. Adicionalmente a esta representación se pueden asociar propiedades geométricas como área o *perímetro*, propiedades topológicas como *conectividad celular* o *distribución de las formas celulares* e incluso propiedades físicas referidas a tensiones o elasticidad de los lados celulares; facilitando así una mejor comprensión de la dinámica de la proliferación celular.

De otro lado, como se muestra en la Fig. 2, el esquema de representación tipo grafo es utilizado para modelar un sistema celular, en él cada nodo v_i representa una célula y cada lado e_i representa la adhesión entre dos células (las líneas continuas). En esta esquematización al grafo se le asocia un mapa dual (líneas interrumpidas) que muestra el tejido celular asociado. Se puede observar en esta representación la triangularización del plano celular, esto significa que cada triángulo en el grafo corresponde al encuentro de tres células, el número de triángulos asociados a cada vértice en el grafo establece la forma poligonal de la célula. Las reglas básicas que se utilizan para describir un sistema celular son: la célula es representada asignándole un único número que la identifique dentro del sistema.

Fig. 2
Tejido celular representado por un grafo



Listar los vecinos o células adyacentes a una célula dada (es decir, todas las células que tienen una relación de vecindario con una célula dada). Esta lista define los lados que conectan esta célula a sus células adyacentes. Este esquema de representación facilita, además de la división celular, otros procesos fundamentales para el desarrollo celular tales como adhesión, crecimiento, diferenciación, apoptosis, entre otros.

Descritos de manera somera, estos dos esquemas de representación, para la siguiente fase del desarrollo de investigación se deben explorar los caminos que permitan modelar la transformación de las poblaciones celulares iniciales, a partir de reglas de división celular que deben ser presentadas y caracterizada para cada tipo de representación, de forma análoga como se ha venido desarrollando con los esquemas de representación del tejido celular. Se pretende codificar las dinámicas de división celular para generar aplicativos de *software* que permitan el análisis de las nuevas poblaciones celulares.

Principios matemáticos para la división celular

Al suponer que el tejido de un organismo multicelular comienza con una célula, la duplicación de ésta, a través de la mitosis, inicia la proliferación celular. Al considerar la célula como un polígono convexo de n -lados, determinado por el número de células que la rodean, este esquema permite interpretar el proceso de mitosis desde una perspectiva geométrica sin perder la conexión con las interpretaciones biológicas que el proceso genera. Para un polígono celular de n -lados, el proceso de mitosis generará dos nuevas células hijas poligonales y la forma poligonal de cada una de ellas está determinada por la progenitora, esto es; dada una célula de n lados, las clases de polígonos hijas que se pueden configurar se encuentran en una de los pares descrito por la secuencia finita:

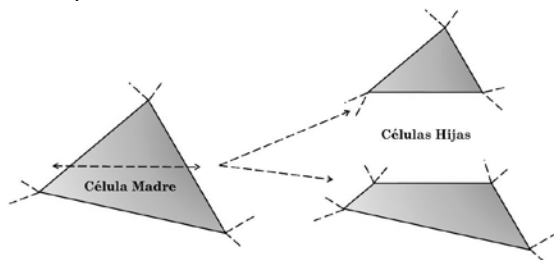
$$(3, n+1), (4, n), (5, n-1), \dots, \left(\frac{n+3}{2}, \frac{n+5}{2}\right)$$

$(3, n+1), (4, n), (5, n-1), \dots, \left(\frac{n+3}{2}, \frac{n+5}{2}\right)$, cuando n es impar, en caso contrario el

$(3, n+1), (4, n), (5, n-1), \dots, \left(\frac{n+3}{2}, \frac{n+5}{2}\right)$ final de ésta secuencia está conformado por $\left(\frac{n+4}{2}, \frac{n+4}{2}\right)$; esto significa que para una célula de lados impares se tiene $\frac{n-1}{2}$ clases diferentes de hijas y $\frac{n}{2}$, si n es par. Por ejemplo, una célula de tres lados puede dar origen a una nueva célula de tres lados y una de cuatro, como se puede apreciar en la Fig. 3. También es importante resaltar que el número de conexión de lados celulares está dado por el número combinatorio $\binom{n}{2}$.

Fig. 3

Esquema de representación de la división de una célula de tres lados



Para entender un poco la dinámica de proliferación celular, se presentan dos modelos que tienen en cuenta las características geométricas descritas. Para cada uno se asumen los siguientes supuestos:

- El conjunto de células solo es modificado mediante división celular, es decir; no hay apoptosis, ni migración de células.
- Cada célula se divide una sola vez por ciclo de división (linaje) y su orden de división es seleccionado de manera aleatoria siguiendo alguna función de distribución de probabilidad.
- Una célula en proceso de división genera dos células hijas a través de la creación de un vértice trivalente y la selección de un lado que orienta el plano de separación celular.
- Cuando la célula se divide, la línea de división debe pasar por lados no adyacentes de la célula progenitora, determinando así la orientación del plano de división celular.

El primer modelo de proliferación celular considera las posibilidades de configuración de las formas poligonales de las células hijas a partir de una madre poligonal de tamaño n . Una célula de tres lados solo puede derivar hijas de tres y cuatro lados, es decir; la clase $(3, 4)$. Además, dentro de las tres posibilidades para la configuración de esta descendencia, determinada por el plano de sepa-

ración $\binom{3}{2}$, se tiene que la probabilidad de derivación de estas células hijas es de $\frac{2}{3}$. De manera análoga para una célula de seis lados, las hijas que puede derivar son de 3, 4, 5, 6 o 7 lados, las cuales corresponde a las clases (3, 7), (4, 6), (5, 5); considerando nuevamente que existen 15 posibilidades diferentes de elección del plano de separación, las posibilidades de generación de estas clases celulares están dadas por: $\frac{5}{15} = \frac{1}{3}$. Al considerar la célula poligonal madre de n -lados ($n \geq 3$) y sus posibilidades de descendencia, a través de la división, cada una de estas anotaciones pueden ser descritas de forma matricial, considerando la matriz M de tamaño infinito, donde las filas de ésta describen el polígono celular materno, mientras que las columnas representaran las posibilidades de descendencia. Por tanto, el número promedio de células de cada tipo proveniente de una célula tamaño n , está condensando en la matriz que se expone en la Fig. 4:

Fig. 4
Matriz que describe las probabilidades de descendencia celular

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2/3 & 2/3 & 2/3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2/5 & 2/5 & 2/5 & 2/5 & 2/5 & 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 0 & 0 \\ 2/7 & 2/7 & 2/7 & 2/7 & 2/7 & 2/7 & 2/7 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots \end{bmatrix}$$

De nuevo, se resalta el significado de cada componente de M que relaciona a la célula en mitosis y su descendencia. Por ejemplo, la posición $m_{5,3}$ indica que el número promedio de hijas de 5 lados proveniente de una madre de 7 lados es de $1/3$.

Para describir el proceso de división celular, se acude a la Teoría de la ramificación (Mode, 1971) considerando M como la matriz de proliferación que acuña esta teoría. Se resalta que la suma de los elementos en cada fila de la matriz M , suman 2. Además $n-1$; $n \geq 3$, elementos en cada fila, son no nulos y cada uno de ellos es de la forma $\frac{2}{n-1}$, debido a que cada célula de tamaño n genera $n-1$ clases diferentes de polígonos.

Sea m_n el vector fila cuyas componentes representan el número promedio de cada tipo celular en la generación n -ésima, es decir:

$$\begin{aligned} m_n &= m_{n-1}M \\ &= (m_{n-2}M)M \\ &= m_{n-2}M^2 \\ &\vdots \\ &= m_0M^n \end{aligned}$$

Lo que muestra que la distribución de los promedios de tipos celulares se puede obtener a partir de potencias sucesivas de la matriz M , el vector m_0 es un vector canónico, donde su componente no nula se ubica en la posición adecuada para indicar el tipo celular que inicia el proceso. Es importante anotar que si n es muy grande, los promedios celulares pierden dependencia de la condición de partida. Por tanto, el promedio de las proporciones en la generación n -ésima se puede describir por: $\frac{m_n}{2^n}$.

Al suponer que en un momento se presenta un equilibrio en estos promedios celulares, es decir que existe un vector E de proporciones que satisface el sistema de ecuaciones lineales:

$$E \frac{M}{2} = E \quad (1)$$

(1) Se justifica a partir de

$$\frac{m_n}{2^n} \approx \frac{m_{n-1}}{2^{n-1}} \approx E$$

Reemplazando tenemos:

$$\begin{aligned} \frac{m_0 M^n}{2^n} &= \frac{m_0 M^{n-1}}{2^{n-1}} \\ \frac{M^n}{2} &= M^{n-1} \end{aligned}$$

Esto significa que

$$\begin{aligned} E &= \frac{m_0 M^{n-1}}{2^{n-1}} \\ E &= \left(\frac{m_0 M^{n-1}}{2^{n-1}} \right) \frac{M}{2} \\ E &= E \frac{M}{2} \end{aligned}$$

La solución para E se exhibe en la tabla 1.

La matriz que expone el sistema (1) tiene una característica sorprendente que es importante resaltar; cada número en la secuencia de la tabla es un múltiplo de e^{-1} , esto significa que la distribución de tipos poligonales expuesta en este modelo, tiene relación con la distribución de Poisson. Se puede afirmar que el número de lados para una elección aleatoria del plano de separación de polígonos celulares por encima de tres lados, tiene una distribución de Poisson con media 1, bajo esta condición, las probabilidades de Poisson son de la forma $\frac{e^{-1}}{n!}$, $n \geq 0$. Pese a la relación encontrada con la distribución de Poisson, se observa que el modelo

exhibe una tendencia celular de tres lados, pero en los registros epiteliales esta forma celular es escasa y casi inexistente. El gran aporte del modelo Cowan está en la determinación las clases celulares a partir de la representación geométrica e incluir los promedios celulares estableciendo a través del lenguaje matricial, la relación entre las progenitoras y su descendencia.

Tabla 1
Convergencia en Cowan

Lados	Natural
3	0.3679
4	0.3679
5	0.1839
6	0.0613
7	0.0153
8	0.0031
>8	0.0031

El segundo modelo de proliferación celular que se presenta, está sustentado en las características geométricas descritas anteriormente, por tanto se hacen las siguientes consideraciones: sea V_t , L_t y C_t el número de vértices, lados y caras después de t rondas de división. Asumiendo que las células se dividen a una velocidad uniforme y que todas las células se dividen, entonces el número de células se duplica en cada ronda de división, luego $C_t = 2C_{t-1}$. El proceso de mitosis genera dos nuevos vértices y tres lados por célula, por tanto, el número de vértices y lados después de t -divisiones se describe a través de:

$$v_t = v_{t-1} + 2C_{t-1} \quad y \quad L_t = L_{t-1} + 3C_{t-1}$$

Al designar a S_t el número promedio de lados por célula después de t generaciones celulares, se tiene:

$$S_t = 2 \frac{L_t}{C_t} = 2 \frac{L_{t-1} + 3C_{t-1}}{2C_{t-1}}$$

Luego

$$S_t = \frac{S_{t-1}}{2} + 3 \quad (2)$$

En (2) se tiene una ecuación recurrente, la cual se puede expresar en términos de la configuración inicial, es decir en términos de t_0 , como se muestra en la tabla No. 2

Tabla 2
Descripción de la Recurrencia

$$\begin{aligned}
 S_t &= \frac{1}{2}S_{t-1} + 3 \\
 &= \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}S_{t-2} + 3\right) + 3 \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 S_{t-2} + 3\left(\frac{1}{2}\right) + 3 \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right)^3 S_{t-3} + 3\left(\frac{1}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{1}{2}\right) + 3 \\
 &\vdots \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right)^t S_0 + \sum_{k=0}^{t-1} 3\left(\frac{1}{2}\right)^{(k-1)}
 \end{aligned}$$

donde,

$$\sum_{k=0}^{t-1} 3\left(\frac{1}{2}\right)^{(k-1)} = 6\left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^t\right)$$

$$S_t = 6 + 2^{-t}(S_0 - 6) \quad (3)$$

La ecuación (3) expone que el número promedio de los lados se aproxima exponencialmente a 6. Desde una mirada biológica se interpreta que en la proliferación celular la topología es predominante hexagonal, esta tendencia no implica que en los tejidos exista prevalencia (e incluso existencia) de células de seis lados, por lo que el modelo basado sólo en propiedades geométricas no ofrece mayor información sobre la distribución de las células en un tejido, cuando este es transformado por mitosis. Sin embargo, esta descripción geométrica ofrece un interesante marco de trabajo para mejorar el modelo.

Tomando como referente las probabilidades de generación de las clases celulares, se expone a continuación un modelo de proliferación celular que incluye la naturaleza estocástica del fenómeno. El modelo tiene en cuenta la división del espacio en forma aleatoria, para ello se acude a las cadenas de Markov. Es importante resaltar que un proceso estocástico X_n $n=0, 1, 2, \dots$ es denominado Proceso de Markov, si para cualquier n , la distribución condicional de X_{n+1} , dadas $X_0, X_1, \dots, X_n$, es independiente de $X_0, X_1, \dots, X_{n-1}$. Así, la característica de un proceso de Markov es que el desarrollo futuro de tal proceso, depende del pasado sólo a través del último valor conocido.

Para este modelo se define el estado celular C , como el número de lados, donde $C > 3$ (esto debido que en tejidos epiteliales es poco frecuente células de tres lados), la frecuencia relativa de las células de C lados se denota por P_C y el estado de la población celular en la generación t es registrada por el vector fila P^t ,

$$P^t = [P_4 \ P_5 \ P_6 \ P_7 \ \dots]$$

Se considera la matriz $\mathbf{P}$, donde las componentes p_{ij} representan la probabilidad que una célula de i lados, después de la mitosis, genere una célula hija de j lados. Al considerar una célula con C_{t-1} lados en la generación $t - 1$, se define la variable aleatoria EK_t que representa el número de uniones distribuidas para una célula hija en la generación t , por tanto $C_{t-1} - K_t$ será el número de uniones para la hermana de clase. Se observa que cada hermana recibe dos uniones de la madre, dejando para distribuir $C_{t-1} - 4$ uniones entre ellas. Asumiendo que esta repartición de uniones se hace de manera aleatoriamente uniforme alrededor de la progenitora y que el plano de separación se hace de manera aleatoria para bisecar el plano materno; se modela la distribución de estas uniones como la repartición de esferas entre dos compartimientos (las células hijas) con igual probabilidad. Esto es el número de uniones maternas para una de las hermanas de clase es $K_t - 2$; una variable aleatoria binomial con parámetros $n = C_{t-1} - 4$ y $p = 1/2$.

Cada célula hija gana dos uniones debido al lado generado por el plano de separación celular, entonces la probabilidad de transición de una madre de i -lados a una célula hija de j -lados está determinado por:

$$p_{i,j} = \Pr(K_t + 2 = j/C_{t-1} = i) = \frac{\binom{i-4}{j-4}}{2^{i-4}}$$

Donde $\binom{i-4}{j-4}$ es el número combinatorio. La matriz de transición normalizada se presenta en la Fig. 5.

Fig. 5
Matriz de Transición

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 3 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 5 & 10 & 10 & 5 & 1 & 0 & \dots \\ 1 & 6 & 15 & 20 & 15 & 6 & 1 & \dots \end{bmatrix}$$

También se debe registrar una matriz de transformación T donde las componentes t_{ij} registran la probabilidad de que una célula de i lados tenga ganancia de lados debido a la división de sus vecinos llegando a ser de j lados. De nuevo se recurre a las observaciones geométricas. Suponiendo que en un tejido epitelial consta de N células, entonces después de una ronda de división celular $+2N$ lados son adicionados, duplicando la población original, por tanto el número promedio de lados adicionados por célula es $\frac{+2N}{2N}$; es decir el número promedio por cada linaje una célula podría ganar en promedio 1 lado.

Luego las entradas de la matriz T son 1 si $j = i + 1$ y 0 en cualquier otro lugar. Se resalta que esta es una estimación promedio, porque en la división de las células vecinas, algunas células pueden ganar más de un lado y otras no modificar su número de lados después de una ronda de división; la figura 6 muestra la matriz banda T .

Fig. 6
Matriz de Banda

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{bmatrix}$$

Luego la dinámica del proceso de proliferación se puede modelar a través de: $P^{t+1} = P^t P T$. Aunque las matrices P y T son infinitas, se puede considerar matrices cuadradas finitas haciendo una restricción sobre un rango finito de posibilidades de formas celulares expuestas en tejidos epiteliales, de 4 lados hasta 11 lados. Por tanto se puede analizar la convergencia de la topología celular con este modelo, después de varias rondas de división. Por tanto, conociendo la distribución de tipos celulares P^t se puede conocer la nueva distribución P^{t+1} generadas después de una ronda de división, un típico proceso de Markov.

De acuerdo a Gibson y Patel [3], bajo las anteriores condiciones, la célula en proceso de mitosis selecciona su línea de separación del plano celular en dos pasos:

- *Selección de un lado para la creación de un vértice trivalente:* se realiza de acuerdo a criterios basados en las características propias de la célula, por ejemplo la longitud de sus lados (lado más corto, lado más largo, cualquier lado, u ortogonal a la orientación anterior). En la elección de este primer lado influye la topología local del vecindario.
- *Selección de un segundo lado:* tratando de conservar criterios de propiedades deseadas sobre las células hijas, por ejemplo simetría o que haya o no células de un número limitado de lados. Esta elección está influenciada únicamente por las características propias de la célula en división.

Proceso de simulación basado en condiciones del tejido, los vecindarios y reglas de división celular

- I. Arranca con una población inicial.
- II. Almacenar tejido y estadísticas Población inicial.

- III. Se definen condiciones de proliferación: (1) Si todas se van a dividir en la misma generación (2) Caracterización de los vecindarios.
- IV. Mientras el proceso de división exista.
 - a. Generar siguiente generación.
 - i. Selección célula progenitora.
 - ii. Ejecutar regla de división.
 - iii. Reconfigurar vecindario.
 - iv. Reconfigurar tejido.
- V. Almacenar tejido y estadísticas Población actual

Caso exploratorio – cambio del parámetro de probabilidad en la selección de clases de hijas

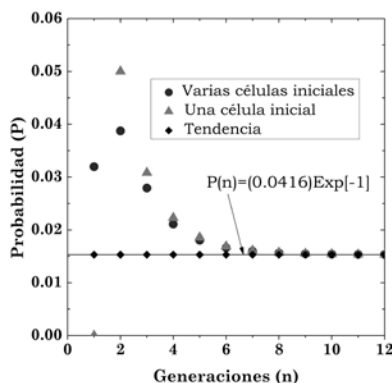
Al analizar cada uno de los modelos presentados, y considerando las condiciones de trabajo que cada uno de ellos exige, se hicieron algunas variaciones en las condiciones de partida de las poblaciones celulares y se alteraron los promedios celulares, teniendo en cuenta el significado biológico y las restricciones matemáticas.

Los modelos de proliferación celular presentados en este artículo muestran un interesante marco de trabajo que requiere del diseño de un caso de estudio para comparar las convergencias y divergencias de los modelos presentados, con el objeto de elaborar un esquema de trabajo reutilizable, en los cuales sea factible desarrollar simulaciones de la proliferación celular, bajo distintas condiciones biológicamente plausibles.

Para ello, se desarrolló la simulación de un proceso de división celular donde se varían condiciones para reconfigurar el vecindario, a través de la probabilidad en la selección de clases de hijas. La simulación arranca con una población inicial identificando las poblaciones por cada tipo de polígono celular. Las condiciones de proliferación son: (i) se considera que en cada generación todas las células de la población deben dividirse y (ii) cada generación debe generar polígonos convexos. La regla de división celular busca la tendencia a conservar la forma de la célula progenitora. Respecto a la reconfiguración del vecindario y el tejido, en cada generación, después de un ciclo de división se contabiliza las clases celulares presentes en él.

Fig. 7

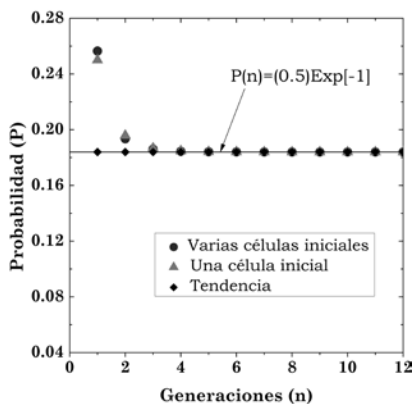
Convergencias en formas celulares durante el proceso de simulación de la proliferación celular para $p = 0.4$



En la Fig. 7 se muestra la tendencia en la convergencia de la proliferación al fijar el parámetro de probabilidad en la selección de clases de hijas es $p = 0.4$. Se puede observar que en las primeras generaciones no se conserva una sincronía cuando la población inicial corresponde a una célula, contrastando con una población inicial conformada por varias células y una convergencia después de la séptima generación. A diferencia de cuando se considera la probabilidad de 0.5, como se puede apreciar en la Fig. 8, siempre existe sincronía entre estos tipos de poblaciones iniciales y la convergencia se da en la tercera generación y con una mayor probabilidad de ocurrencia. Esto en términos biológicos significa que las madres celulares tienden a conservar en su descendencia la forma materna y puede existir un desequilibrio generacional cuando se modifica esta condición.

Fig. 8

Convergencias en formas celulares durante el proceso de simulación de la proliferación celular para $p = 0.5$



Conclusiones, limitaciones y trabajo futuro

Los modelos de proliferación celular expuestos, muestran patrones geométricos y descripciones matemáticas que se han desarrollado gracias a la caracterización de cada componente dentro de un tejido epitelial, como un polígono convexo de n -lados, donde el número de lados del polígono celular está determinado por el número de células que lo rodean; también una de las fases del proceso de mitosis está caracterizada por la elección del plano de separación, que a nivel biológico determina la generación de la descendencia y a nivel matemático, es determinante de las clases celulares descendientes.

Los modelos presentados muestran la tendencia a la conformación de poblaciones celulares con predominio hexagonal, sin embargo, no garantizan que en tejidos esto sea una constante a cumplir.

Las matrices expuestas en los modelos son de tamaño abierto, no obstante, se pueden transformar en matrices cuadradas, para cálculos computacionales, teniendo como referente que en tejidos epiteliales se pueden encontrar formas celulares que pueden ser desde tres hasta doce lados. Se resalta que los tipos celulares en los extremos de este rango de posibilidades, se presentan con poca frecuencia.

Sorprende que, en cada uno de los modelos presentados, con desarrollos matemáticos relativamente sencillos, se pueda describir procesos biológicos fundamentales en el desarrollo de tejido epitelial y proporcionan herramientas para desarrollo de simulaciones del fenómeno. También dan cuenta de la ganancia en términos de lados celulares, aunque desconocen otros procesos biológicos como crecimiento celular, apoptosis, intercambio químico entre otros. La relación encontrada con la distribución de Poisson es otro aspecto a resaltar, que se ajusta debido a la naturaleza discreta de las poblaciones celulares y al número de células por ciclos de división, saliéndose de los casos típicos de uso de esta distribución como número de llamadas en una central telefónica durante cierto periodo de tiempo, el número de defectos por m^2 en alguna pieza de material, el número de errores ortográficos al escribir una página, el número de accidentes de tránsito sobre una avenida durante una semana, entre otros.

Referencias

- [1] M. Durfort i Coll, M. Llobera i Sande, and S. Vilaro Coma, Eds., *Biología Molecular de la Célula*, [2a ed.] ed. Barcelona: Omega, 1992.
- [2] W. T. Gibson and M. C. Gibson, "Cell topology, geometry, and morphogenesis in proliferating epithelia." *Current topics in developmental biology*, vol.

- 89, pp. 87–114, 2009. [en línea]. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/s0070-2153\(09\)89004-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0070-2153(09)89004-2)
- [3] M. C. Gibson, A. B. Patel, R. Nagpal, and N. Perrim, “The emergence of geometric order in proliferating metazoan epithelia,” *Nature*, no. 7106, pp. 1038–1041, 2006.
- [4] W. Gibson, J. Veldhuis, B. Rubinstein, H. Cartwright, N. Perrimon, G. Brodland, R. Nagpal, and M. Gibson, “Control of the mitotic cleavage plane by local epithelial topology,” *Cell*, vol. 144, no. 3, pp. 427–38, 2011.
- [5] R. Korn and R. Spalding, “The geometry of plant epidermal cells,” *New Phytologist*, vol. 72, no. 6, pp. 1357–1365, 1973.
- [6] G. W. Brodland and J. H. Veldhuis, “Computer simulations of mitosis and interdependencies between mitosis orientation, cell shape and epithelia reshaping,” vol. 35, no. 5, pp. 673–681, 2002. [en línea]. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290\(02\)00006-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290(02)00006-4)
- [7] R. Farhadifar, J. Roper, B. Aigouy, S. Eaton, and F. Julicher, “The influence of cell mechanics, cell-cell interactions, and proliferation on epithelial packing,” *Current Biology*, vol. 17, pp. 2095–2104, 2007.
- [8] S. Duvdevani-bar and L. Segel, “On topological simulations in developmental biology,” *Journal of Theoretical Biology*, vol. 166, pp. 33–50, 1988.
- [9] K. Alim, O. Hamant, and A. Boudaoud, “Regulatory role of cell division rules on tissue growth heterogeneity,” *Front Plant Sci*, vol. 3, 2012.

(SUBMISSION 87)

Development of IoT Systems: a domain independent approach

SANTIAGO FELIPE ARTEAGA MARTÍN

KELLY GARCÉS

NICOLÁS BONET GONZÁLEZ

*Department of Systems and Computing Engineering
Universidad de Los Andes
Bogotá D.C., Colombia*

Abstract

Nowadays, the work and learning curve in the implementation of an Internet of Things solution is high. We want to reduce this effort and therefore, propose a Model-Driven approach to ease the design and implementation of such complex systems. With our approach, the developers could deploy solutions in a more reasonable time. To this end, we designed a metamodel, created a graphic editor and a code generator based on this metamodel and. Then, we tested the domain-independence of our approach with three case studies. And the results suggested that our solution could help the developers in generating a significant portion of the final software, thus reducing their workload.

Keywords: case study, model-driven engineering, internet of things, SOA architecture, computation independent model, graphic editor, code generator.

Introduction

Nowadays, autonomous smart-objects cooperate seamless across network, creating what we know as Internet of Things (IoT) [4], [8], [5]. This scenario creates a heterogeneous ambient of things with endless types of sensors,

actuators, platforms and Information Technology (from head IT) resources (programming languages, cloud platforms, etc.) that will need to cooperate to fulfill the IoT paradigm [4], [8], [7], [5].

In this context, there are four challenges in creating IoT solutions [4], [5], [3]; i) the heterogeneous technology involved in their deployment, ii) the staff's technical knowledge needed to create them, iii) the specific business/domain knowledge needed to create a proper solution [7], and iv) the amount of changes in the technology involved [6]. Even with the common understanding of the IoT Architectural Reference Model (IoT-ARM) [1], these challenges remain relevant to this day [4], [8], [5], [1].

We propose a Model-Driven Engineering (MDE) as an approach to solve three specific challenges. i) abstracting the high-level requirements needed to manage complex and heterogeneous systems. ii) reducing the time and knowledge needed to develop an IoT solution. And iii) enabling artifact reusability between solutions (i.e.: health, housing, food production, etc.). We will refer to this last challenge as domain-independence. In this document, we summarize the IoT metamodel design, its customization (Section 2), the tooling and the case studies made for the research (Section 3). Then, we discuss our advantages, limitations and differences with other approaches (Sections 4 and 5). And finally, we describe our work insights and future work (Section 6).

Contributions

IoT Metamodel

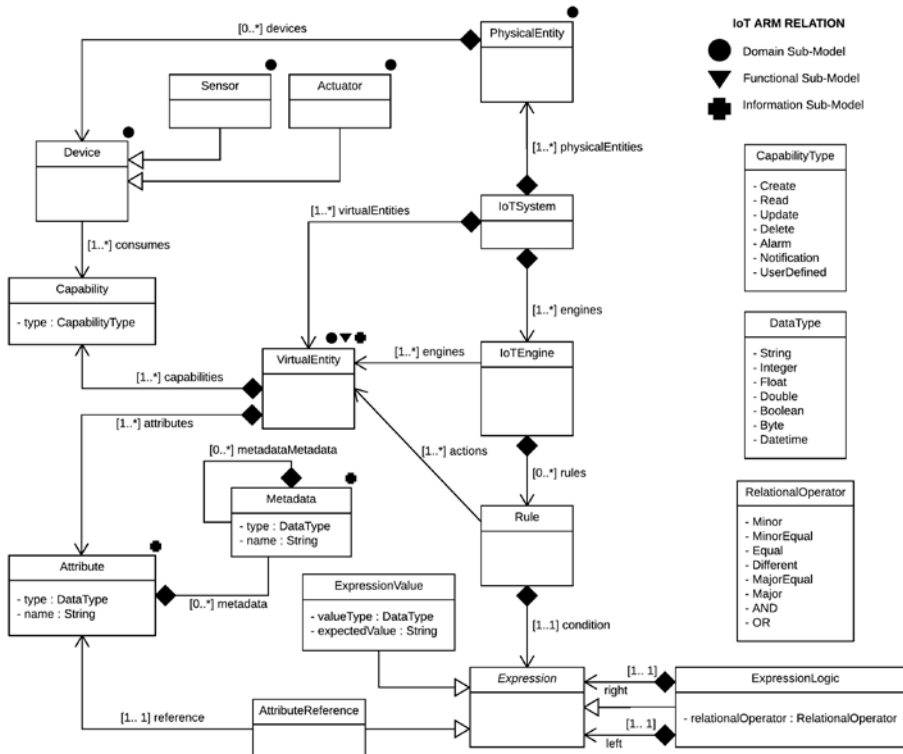
Our Computation-Independent Metamodel (CIM) is based on the IoT-ARM [1] and uses three of its five different sub-models: Most of the concepts come from the *Domain Model* and extends from the *Information* and *Functional* models to provide a flexible and domain-independent system structure. The *Security* and *Communication* models are not considered because their pre-defined technologies (i.e., OSI network stack) and architectural tactics (hierarchically managed ID) may hamper the domain-independence of our approach.

Description: Figure 1 shows our CIM, we used geometrical shapes in the upper-right corner of the metamodel elements to show how they are related to the IoT-ARM models. As indicated by the geometrical shapes, most of the classes are like those of the IoT-ARM. Notable exceptions are *Rule*, *Capability*, *IoT Engine* and *Expressions* elements. A list of the CIM elements follows:

- *IoT System*: It is the metamodel's root element that helps group the other concepts.
- *Virtual Entity*: *VE* for short, represents a physical entity or object in the digital realm. This can be executable objects, database registers, files, 3D representations, etc. any software component can be considered a *VE*.
- *Physical Entity*: *PE* for short, represents an object in the real world that has embedded devices (*Sensors* or *Actuators*).
- *Device*: Represents a real world peripheral object, the device can be the actual *PE* or can be a part of a complex *PE*.
- *Sensor*: A device that collects environment data and represents (usually in real time) the real state of the object.
- *Actuator*: Device that alters or interacts with the environment and change the real state of the object.
- *Capability*: Indicates the basic operations (CRUD), alerts, notifications or user-defined operation offered to the system.
- *IoT Engine*: Executes the IoT system's logic expressed in the form of *Rules* that are related to the *VE*.
- *Rule*: Represents a set of business guidelines needed in an IoT process or scenario. It consists of a unique *Expression*.
- *Expression Logic*: Uses one or more conditions and returns a Boolean value when evaluated. It has an operator, which is a kind of relation ($<$, $>$, $\leq$, $\geq$, $\neq$, $=$, etc.) that is tested between two *Expressions*, i.e., left and right.
- *Expression*: Abstract element that represents the kind of statements involved in a logic expression. There are three kinds of expressions: *Attribute reference*, *Expression Value*, and other *Expressions Logic*.
- *Attribute Reference*: Allows the metamodel to reference a *VE* attribute. During execution, the attribute value will be evaluated in the *Expression Logic*.
- *Expression Value*: Represents an expected value of a primitive type (String, Boolean, Float, Byte, etc.).
- *Parameter*: Represents the variables used to execute the system's actions according to the *Rules* it responds to.
- *Attribute*: Representation of the Virtual Entity data. It has a name, a type and a value.
- *Metadata*: Helps with the semantic interpretation of data and Quality of Information (QoI) with values such as: time-stamps, precision and measurement units.

- *Relational Operator*: Lists the operators available to define logic expressions in the IoT system.
- *Data Type*: Lists the basic types of variables used in the IoT system (String, Boolean, Integer, Float, Byte, etc.)
- *Capability Type*: Lists the possible functions provided by a *Virtual Entity*, which could be to create, remove, update or delete (CRUD) a VE or a user defined function. If the latter, the generator marks the code if the developer needs to manually implement the function.
- *Customization*: We extended our CIM to support a more precise behaviour. Whilst the IoT-ARM delegates the behaviour to the Application Functional Group (which acts as a black-box system), our CIM specify the system behaviour with the *Rule* and *Expression Logic* elements. This support the code generation for different system notifications as the *Expression* element and the *left* and *right* relationship make the basis to implement complex behaviour rooted in Boolean rules.

Fig. 1
CIM diagram for the development of IoT systems



Other specific element in our CIM is *Capability*, which replaces the *Service* element of the IoT-ARM. This improves the technology-independence of the CIM and enables us to build a tailor-made code-generator for each technology. Finally, we added the *IoT Engine* element to replace the *Digital Artifact* of the IoT-ARM and use it as the environment on top of which the *Rules* and *Virtual Entities* run.

Implementation

According to the MDE development process, after the CIM is designed, a target architecture is needed. Then, to generate the final software we need to specify some solution models that can be Platform Independent Models (PIM) or Platform Specific Model (PSM) [2].

Target architecture

Fig. 2 shows the target architecture's components: The *Edge* group (right) can be *Third-Party Controlled* or *Remote-controlled*. The first kind can be interpreted as an independent service provider such as a mobile application or WEB client. The second one can be infrastructure owned by the IoT system administrators (i.e.: microcontrollers, sensor stations, etc.) in remote locations (i.e.: sensor LAN/WAN network). These *Edge* components communicate with the *Core* in different methods (Internet, Mobile network, satellite up-link, etc.). In our implementation, we used Android for mobile devices, Raspberry PI and Node-RED as middleware and Arduino as the platform for the IoT devices (sensors and actuators).

Consequently, the *Core* components are deployed in a reliable computer cluster (Cloud or on-premise). First, the *Edge Manager* receives the data from the *Middleware* and sends it directly to the *Rule Engine* to keep latency low. Next, the *Rule Engine* validates the data with the defined conditions and, if needed, sends a priority alarm to the *WEB* and *Mobile Client* through the *WEB* and *Mobile Controllers*. Finally, all data is saved with the *Persistence Manager*. In our implementation, we used the Heroku cloud services to support multiple copies of the components (Virtual Machines) through a load balancer, and the Java programming language to implement the *Core*'s services.

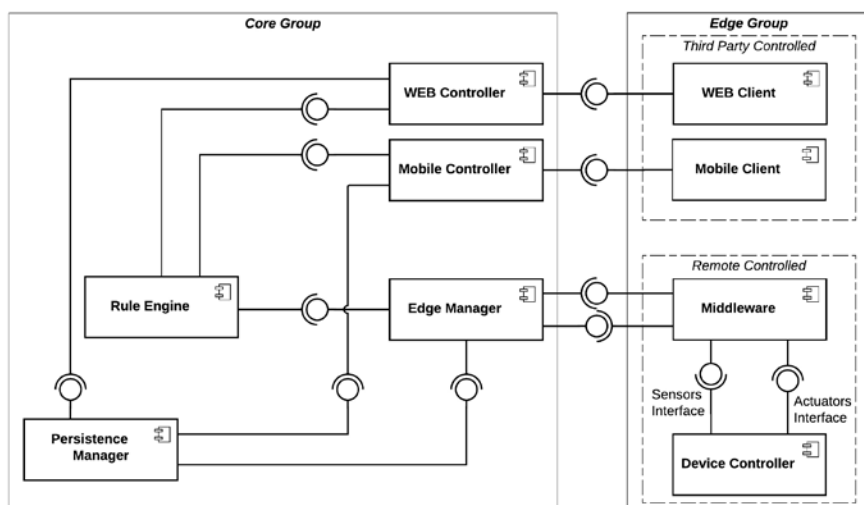
Tooling

We developed some tooling to automate the *Core* and *Third-Party Edge* group code generation. We decided to leave the *Remote-Controlled Edge* components

out of the scope of this research because of their differences in hardware technology would hamper our CIM generalization.

The current tooling has: i) A *Graphic Editor* that creates and edit models following our CIM specifications. It was made in Eclipse Sirius. And ii) A *Code Generator* that transforms our representations into functional code in the target architecture (see Fig. 2). It consists of a set of Model-To-Text (M2T) transformations written in Epsilon Generation Language (EGL).

Fig. 2
Target Architecture for the case studies



Evaluation

Since size limitations, this section only describes the *graphic editor* representation obtained for the *Smart Crops* case study. Nevertheless, we report the results for the *Smart Homes and Buildings* and the *E-Health* cases.

Case Studies

In *Smart Crops*, farms need to satisfy a higher food demands. The *Stakeholders* are the farm workers and owner. In *Smart Crops* case, the *Goal* is to detect extreme weather conditions and prevent crop damage due to freezing temperatures. The *Infrastructure* has *Edge* sensor nodes (temperature, humidity, etc.) and network access (middleware and gateway) in the farm field and the *Core* nodes process and record data for the farm owner. The *Condition* check if the ambient temperature at night is below 4.90 °C and the relative humidity

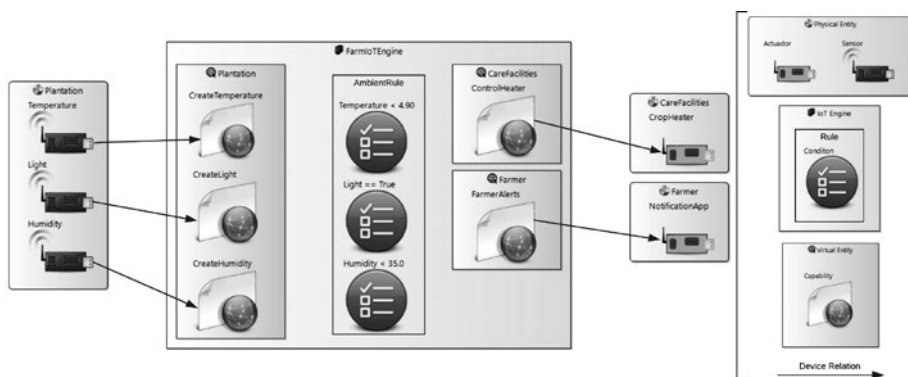
is below 35.0 %. And if the condition is true, the *System Response* turns on the field heating equipment until environmental conditions improve.

Graphic Editor

Fig. 3 shows the *Smart Crops* representation in the *Graphic Editor*. First, there are three *Physical Entities*: i) the Plantation sensors (temperature, light and humidity); ii) the Care Facilities with its crop heater; and iii) the Farmer with her mobile device. Next, the green area indicates the *IoT Engine* and the grey boxes with the names Plantation, Care Facilities and Farmer represents the *Virtual Entities*. These VEs have some standard *Capabilities* such as: create new sensor data (temperature, light and humidity) and farmer alerts.

In addition, the *IoT Engine* execute the *Ambient Rule* definition (attributes and metadata details are in another editor's views). If all three conditions present themselves, the actions are triggered. In this case, an alert is sent to the farmer and the heating system is adjusted. We use solid lines between the *PE* and the *VE* to indicate which capability is consumed by a given *PE*, e.g., a humidity sensor → creates a new humidity record in the database. The direction of the line indicates how the information flows from/to devices, according to their type (either sensor or actuator).

Fig. 3
Graphic editor CIM representation for the Smart Crop case study



Code Generator

Table 1 shows the number of Lines of Code (LOCs) per architectural component for all the case studies (Smart Crops, Smart Homes and E-Health). It is important to note that most of the components are automatically generated, except for the Middleware and the Device Controller, which were manually developed due to the scope of our investigation. The data shows that between 58.0 % and 72.0 % of the capabilities can be automatically generated in the case studies.

Table 1
Component locs in the target architecture for each case study

Component	Tech	Smart Crops	Smart Homes	E-Health
Rule Engine ^a	Java	67	73	79
Persistence Manager ^a	Java	35	35	35
Edge Manager ^a	Java	24	16	24
WEB Controller ^a	Java	59	47	53
Mobile Controller ^a	Java	19	17	19
Mobile Client ^a	Android, XML	354	398	354
WEB Client ^a	JS, HTML	104	98	100
Middleware ^m	Node-RED	362	241	301
Device Controller ^m	Arduino	112	28	84

a Automatically generated components.

m Manually developed components.

Discussion

Our CIM establishes a clear distinction between the physical and digital worlds (VE and PE) to the developers. The *Capability* element expresses the system's functionality regardless of technologies and architectural patterns. The *Expression* element enable complex *Rules*. And the *Attributes* and *Metadata* elements complement all mentioned features with a flexible data domain representation.

In contrast, our CIM is unable to create hierarchical related virtual and physical entities (i.e., a building with different apartments and several rooms in each one of them). The code generator only has one architectural pattern (SOA), thus partially hampering our domain-independence. Also, the lack of details about the infrastructure for system availability. And finally, the manual deployment of the generated code.

Related Work

In this section, we compare three works close to our proposal. First, the main contribution in [7] is a graph where the nodes specify elements in four design considerations (Sensor, Analytics & Algorithm, Domain-Specific and the Infrastructure Knowledge Base) and the arcs express how the information/data flows through the elements. Like [7], our approach uses the developer as the main stakeholder, consider the data/information flow in the IoT system and consider the Domain-Specific and Sensor Knowledge Base concepts. In contrast, we use the IoT-ARM as common ground to our approach.

The authors of [3] use a transformation chain to create the IoT system with mobile devices as sensor platforms and a Model-View-Controller (MVC) pattern in a Service Oriented Architecture (SOA). The process takes a unified CIM and PIM model and creates the software behaviour with an ECA (Event, Condition, and Action) Rule engine. Like [3], we use MDE to generate the code in the IoT nodes (i.e.: mobile devices). Therefore, the main difference between us is that our transformation chain only takes the CIM as an input.

In [5], the authors created a Cyber-Physical System (CPS) to improve productivity. The IoT-ARM is extensively used in the EBBITS platform because: i) its components follow the *Domain Model* concepts; ii) The Ontologies use the *Information* and *Domain* models to manage different technology providers and establish synonyms between them; and iv) services follow the *Functional* and *Security* models. To the best of our knowledge, the solution of [5] is the most extensive application of the IoT-ARM in the industry. The main difference with our solution is the use of proprietary technologies and techniques that hamper its widespread application in other areas of less investment (i.e.: smart crops).

Conclusions and future work

First, our solution generates functional code for all *Core* components and the *Third Party Controlled Edge* components. Overall, our approach proves useful between case studies because many of the IoT solution requirements are domain independent, for example: notifying/alerting users about events or validating sensor data to react according to specific domain rules.

The target architecture could be considered inadequate for IoT domains. Nevertheless, this architecture can also be a starting point for a more complex solution or transition architecture between states. More architectural patterns are needed, and adding the *Lambda Architecture*³ would greatly improve the tooling effectiveness because its speed and batch components react in short and long-time frames.

Finally, we need to define features to deal with different types of middleware and device suppliers (microcontroller). Finally, we should also address the security concerns with new CIM elements such as profiles, access control, authorization and authentication.

3. Michael Hausenblas and Nathan Bijmens. Lambda Architecture. URL: [http:// lambda-architecture.net/](http://lambda-architecture.net/). April 15, 2017.

References

- [1] Bauer, M., Bui, N., De Loof, J., Magerkurth, C., Nettsträter, A., Stefa, J., Walewski, J.W.: Iot reference model. In: Bassi, A., Bauer, M., Fiedler, M., Kramp, T., van Kranenburg, R., Lange, S., Meissner, S. (eds.) *Enabling Things to Talk: Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model*, pp. 113–162. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2013).
- [2] Brambilla, M., Cabot, J., Wimmer, M.: *Model-Driven Software Engineering in Practice*. Morgan & Claypool Publishers, 1st edn. (2012).
- [3] Cai, H., Gu, Y., Vasilakos, A., Xu, B., Zhou, J.: *Model-driven development patterns for mobile services in cloud of things*. IEEE Transactions on Cloud Computing PP (99), 1–1 (February 2016).
- [4] Ciccozzi, F., Spalazzese, R.: *MDE4IoT: Supporting the Internet of Things with Model-Driven Engineering*, pp. 67–76. Springer International Publishing, Cham (2017).
- [5] Conzon, D., Brizzi, P., Kasinathan, P., Pastrone, C., Pramudianto, F., Cultrona, P.: “Industrial application development exploiting IoT vision and model driven programming”. In: 2015 18th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks. pp. 168–175 (Feb 2015)
- [6] Grace, P., Pickering, B., Surridge, M.: *Model-driven interoperability: engineering heterogeneous IoT systems*. Annals of Telecommunications 71(3), 141–150 (2016)
- [7] Pal, A., Mukherjee, A., P., B.: *Model-driven development for internet of things: Towards easing the concerns of application developers*. In: Giaffreda, R., Vieriu, R.L., Pasher, E., Bendersky, G., Jara, A.J., Rodrigues, J.J., Dekel, E., Mandler, B. (eds.) Internet of Things. User-Centric IoT: First International Summit, IoT360 2014, Rome, Italy, October 27-28, 2014, Revised Selected Papers, Part I, pp. 339– 346. Springer International Publishing (2015)
- [8] Riedel, T., Yordanov, D., Fantana, N., Scholz, M., Decker, C.: *A model driven internet of things*. In: 2010 Seventh International Conference on Networked Sensing Systems (INSS). pp. 265–268 (June 2010).

(SUBMISSION 19)

Improving the fault tolerance in multistage interconnection networks

DIEGO BERMÚDEZ

JHON VILLARREAL

LUIS HERRERA

Universidad Piloto de Colombia

Abstract

The high-performance computing is a key component that drives the current society. In these systems, the interconnection network is a key piece to obtain not only a high performance but also the highest level of fault-tolerance. Indirect topologies are often chosen in the design of HPC systems. Although there is an endless number of topologies, the most commonly used is the fat-tree. This paper presents a proposal for a new network topology that provides a high fault-tolerance level and the possibility of reducing the HoL blocking while increasing the network performance, using the same hardware as the fat-tree one.

Keywords: regular indirect topologies, fat-trees, adaptive and deterministic routing, fault-tolerance, high performance computing.

Introduction

In the government, military and research fields, among others, the use of high performance computing (HPC) is required to process a large volume of data. These systems are built up by using thousands of processing nodes [1] which are interconnected between them. All these processing nodes work jointly to solve a

problem in as short time as possible. To achieve a high throughput, it is necessary to increase the number of processing nodes that are part of the supercomputer. However, as the system grows, not only its processing capacity does, but also the possibility of faults in the system, since this probability linearly grows with the number of elements. In this kind of machines, it is critical to keep running the system, even in the presence of failures. It is possible to address the high availability across two fronts: the first one is adding more hardware components to the system, but this option significantly increases the cost of the network. The second one is designing routing mechanisms to circumventing the failures.

In all the HPC systems, from the operational point of view, the network plays the most important role since it provides the communication between all components. The fat-tree is one of the most used topologies in large supercomputers thanks to the good throughput and the fault-tolerance levels, but at the cost of a high hardware cost. For that reason, this work presents the current advance of a new multistage interconnection network (MIN) for large supercomputers which is intended to provide fault tolerance and using the same hardware resource as the fat-tree one.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 summarizes some related work. Section 3 provides background on the fat-tree and RUFT topologies. Section 4 describes the proposal for a new fault-tolerant topology. Finally, some conclusions and future work are drawn.

Related work

The main goal in designing an HPC system can be summarized in three aspects: 1) achieve a highest throughput, 2) provide fault tolerance and 3) keep a low-cost design. Many researchers have tackle this field of study, both in UMINs (Unidirectional MIN) and BMINs (Bidirectional MIN) [2][3], concluding that to accomplish with these targets it is necessary to add more hardware resource to the network like links, switches per stage, create extra stages and add spare elements. All these proposals not only significantly increase the hardware but also the switch complexity and the topology.

In the UMINs have been proposed several topologies for this kind of systems trying to increase the fault-tolerance levels without reducing network performance. For example, the GIN [4] topology is an UMIN proposed to improve the disadvantages of Omega, the binary n -cube, Delta, Shuffle-Exchange and Banyan networks in which there only exists a unique path for every pair of nodes. However, the GIN topology requires a high number of switches and a

large number of links to interconnect the entire network, without providing fault tolerance.

In 3DON [5] and 3DGMIN [6] the authors use extra hardware to get 3 disjoint paths, just tolerating two faults in the network. Nevertheless, the main drawback of these topologies is that in order to increase the fault-tolerance levels the source processing node has to send two identical packets along two different paths, causing more packet contention and degrading the network performance.

Other works as described in [7] propose to improve the IASEN topology [8] to increase the fault-tolerance levels, achieving up to twelve different paths for every source-destination pair. However, the main drawback of this topology is the possible bottleneck that could be formed in the intermediate stages if one of these switches fail. In Pars Network [9], fault-tolerance in MINs is provided by increasing the total number of switches in the network, besides of requiring a high number of multiplexers and demultiplexers to connect all processing nodes to the network. On the other hand, this proposal only relies on networks with 2×2 switches, being not suitable for networks with switches of higher arity.

Finally, in BMINs other approaches different to replication have been proposed since, unlike UMINs, BMINs provide alternative paths between source-destination pairs. Opposite to the aforementioned topologies the proposal presented in this work aims to improve the UMIN topologies taking advantage of the hardware used by the fat-tree topology.

Background

Fat-Tree Topology

The fat-tree topology is based on a complete tree that thickens near the root. Switch arity increases as we go nearer to the root, which makes its implementation unfeasible. Hence, some alternative implementations have been proposed in order to use switches with fixed arity. In particular, one of these proposals is the k -ary n -tree [10], which is a parametric family of regular multistage topologies. The number of stages is n and k is the arity or the number of links of a switch that connects to the previous or to the next stage (i.e., the switch degree is $2k$. k inputs ports $\times k$ output ports). A k -ary n -tree is able to connect $N=k^n$ processing nodes using nk^{n-1} switches.

FTA - Adaptive Routing in Fat-trees In k -ary n -trees, minimal routing between a source-destination pair can be accomplished by sending packets upwards from the source to any of their nearest common ancestors and then from there

downwards to the destination. When crossing stages in the upwards direction, several paths are possible, thus providing adaptive routing. In fact, each switch can select any of its k up output ports. Once a nearest common ancestor has been reached, the packet is turned around and sent downwards. The stage up to which the packet must be forwarded is obtained by comparing the source and destination components beginning from the most significant one. The first pair of components that differs indicates the last stage to forward up the packet. Once in that stage, the descending path is deterministic. At each stage, the descending link to choose is indicated by the component corresponding to that stage in the destination n -tuple.

DESTRO – Deterministic Routing in Fat-Trees

As FTA, DESTRO [11] uses a two-step process to route the packets into the network: an upward phase and a downward phase. However, unlike FTA, in this proposal both phases are deterministic. To provide a deterministic upward-phase the authors have reduced the number of available paths provided for FTA for every source-destination pair to only one path, that is, the routing becomes fully deterministic. The downward phase remains the same as FTA. By using a deterministic routing the packets are classified in each stage and output ports allowing to reduce the existing HoL blocking [12] in the downward phase and reduce the switch complexity required by the network. Fig. 1 shows the interconnection system implemented by DESTRO and the packet distribution as they move through the different stages, in a 2-ary 3-tree. Packets with an even id take output port 0 and packets with an odd id take the output port 1. The red arrows (dashed lines) show the paths to reach the processing node 7 from all other nodes. As we can see, the output ports of the last stage are unused.

RUFT – Reduced Unidirectional Fat-Tree

RUFT [13] [14] is a network topology which takes advantage of the nice properties provided by DESTRO. In this proposal, the routing algorithm implemented by DESTRO is modified in such a way that all packets must travel until the last stage before starting their downwards path. As a consequence, to reduce even more the switch complexity, the authors have removed the downward phase required by DESTRO and taken advantage of the output ports of switches in the last stage. Therefore, given that there is not switch activity in the downward phase, the switches are simplified by making them unidirectional. Fig. 2 shows the interconnection system implemented by RUFT in a 2-ary 3-tree, and the path used by a packet with destination to node 7.

As we can see, on each stage, and switch, packets are classified through the different output ports allowing to balance the traffic to improve the network

performance. Thanks to this behavior, the topology only provides a unique path for each source-destination pair, reducing the traffic congestion in the upper stages and removing the HoL blocking in the downward phase.

Fig. 1
DESTO 2-ary 3-tree

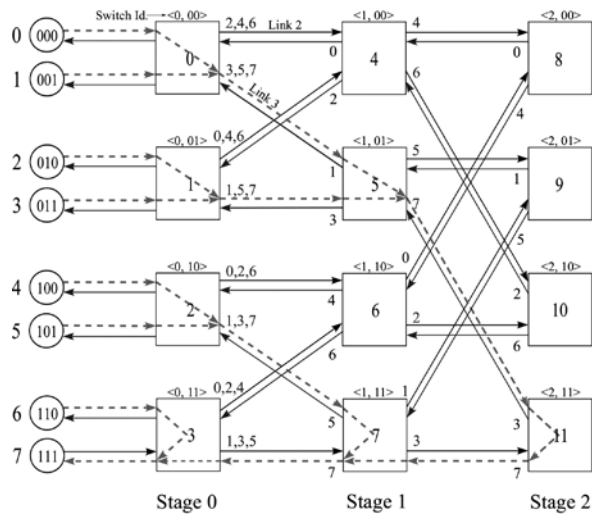
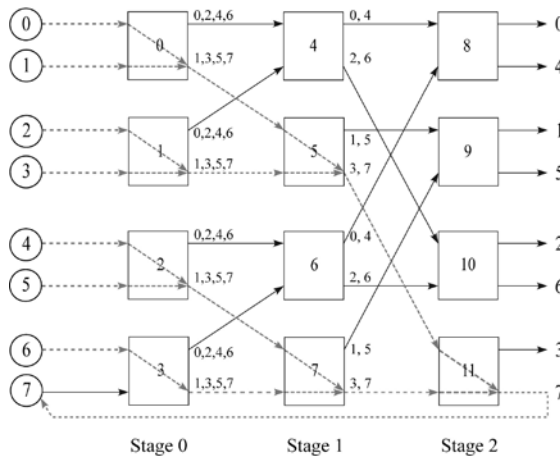


Fig. 2
RUFT 2-ary 3-tree



RUFT-PL – RUFT with Parallel Links

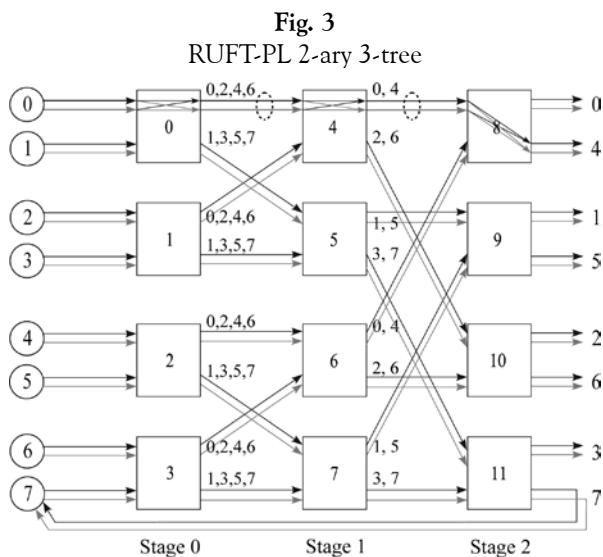
RUFT-PL is a network topology that uses the same number of switches as the fat-tree, DESTRO and RUFT. However, in RUFT-PL, the number of switch ports is the same as those required by fat-tree. The main purpose of this proposal

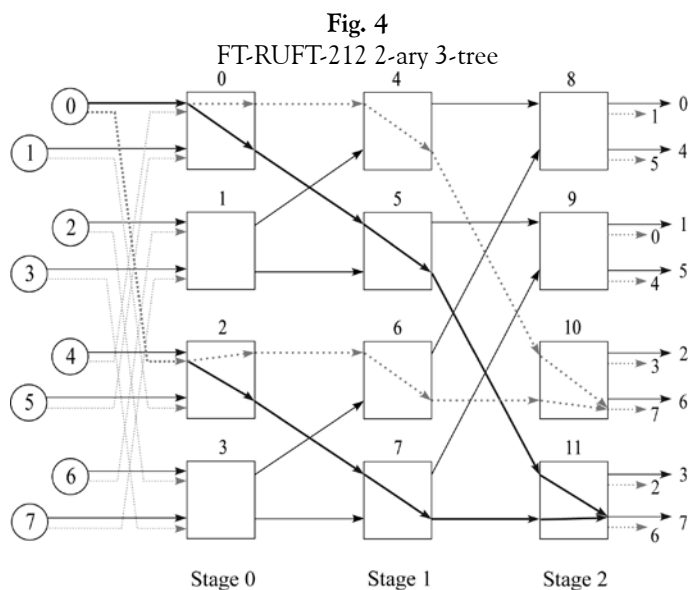
is implementing the RUFT topology but using switches with a similar hardware cost to the fat-tree one. As fat-tree switches have bidirectional ports, RUFT-PL can double the number of unidirectional ports of RUFT switches. By having an additional port, the authors propose implementing a second RUFT topology to have two parallel links connecting each pair of switches.

In particular, processing nodes also have a dual connection with the first-stage switches. Therefore, every processing node can inject packets into the network through two different links. Once the packet is on the network, at each stage, it can take any of the parallel links conducting to the next stage. The link selection is performed in a dynamic way to reduce the HoL blocking. In the last stage, RUFT-PL also provides a dual connection between switches and processing nodes. In this point packets are absorbed by its destination, so that, there is not congestion in the packet delivery. Fig. 3 shows the RUFT-PL topology and distribution of packets as they move along different stages. Blue lines can be considered as the primary links, and the red lines the secondary ones. As it can be seen, by having dual links, the topology is able to cope a faulty link at any point of the network, providing in this way some fault-tolerance degree.

FT-RUFT-212

To solve both the RUFT and RUFT-PL weakness a new proposal called FT-RUFT-212 [15] was proposed. This topology follows two approaches: Firstly, to keep a low-cost design, the interconnection between switches is similar to the one used by RUFT, that is, there is only a unique link connecting each pair of switches.





Secondly, interconnection from/to processing nodes are modified by duplicating the links in such a way that the fault-tolerance is improved.

Unlike RUFT-PL, instead of arranging the links in parallel to connect the processing nodes and switches of the first stage a new interconnection pattern was developed. In this case, the first link of the processing node connects with the same switch as RUFT does. However, to provide fault-tolerance in the injection, at switch level, the second link of the processing node connects with the same switch as the primary link but by inverting the most significant bit of the switch identifier component's.

To provide fault tolerance in the last stage a different pattern to the one used in the injection is implemented. The primary link of the output port connects with the same processing node as RUFT does. Nevertheless, the secondary link connects with the same processing node as the primary link but by inverting the least significant bit (LSB) of the destination processing node. In this way, it is possible connecting with the same destination through two different paths.

Fig. 4 shows a FT-RUFT-212 2-ary 3-tree and the 4 different paths that could follow a packet from source node 0 to destination node 7. Blue lines (solid lines) represent the primary paths and the red lines (dashed lines) the secondary ones. When a packet is in the first stage and it is going to be sent through the secondary path it is necessary to modify the LSB so that it can be ejected through the secondary link of the ejection port in the last stage.

In absence of failures packets can be sent through any of the 4 available paths in order to balance the traffic in the network. In case of faults in the network, injection/ejection links the packet can be forwarded through any of the non-faulty paths.

Ft-ruft-222

FT-RUFT-222 [16] uses the dual injection/ejection of FT-RUFT-212 and the dual interconnection between each pair of switches as RUFT-PL does, but in this case, all the switches are symmetrical, that is, in every stage the switches are $2k \times 2k$ as in the fat-tree topology. This topology uses the k additional switch port to have dual connection between all switches of the network, following the same connection scheme of RUFT. Fig. 5 shows a FT-RUFT-222 2-ary 3-tree and all the paths that could follow a packet from source node 0 to node 7.

The advantage of FT-RUFT-222 is that taking the best properties of RUFT-PL and FT-RUFT-212 it is possible to increase the fault-tolerance levels. As we have seen, FT-RUFT-212 offers up to 4 paths provided by the double injection/ejection. Now, FT-RUFT-222 thanks to the parallel network links offers up to 8 alternative paths, tolerating so a total of 7 faults.

The methodology for routing packets in FT-RUFT-222 is similar to the one used by FT-RUFT-212. At injection, and absence of faults, the processing nodes can select any of the two first-stage switches. Once the packets are in the first stage they can be sent through the primary or secondary path and, unlike FT-RUFT-212, in each stage, they can use any of the parallel links to reach the next switch. When the packet is in the last stage they only have a unique output port to be delivered. In absence of faults, having parallel network links allow us to boost the number of paths in the routing algorithm to further increase performance [17].

The proposal

In FT-RUFT-222 when a packet is going to be injected into the network it has the possibility of using any of the two input ports. Once the packet is in the first stage it has the possibility of being sent through any of the 4 available paths, the two-parallel links of the primary path or the two-parallel links of the second one. Hence, once the packet is routed in the first stage it must follow the parallel path until reach its destination, that is, it is not possible to change to the alternative path.

To increase even more the fault-tolerance levels and keeping a good performance a new network topology is being developed which, as RUFT-PL and FT-RUFT-222, uses the same hardware resources, that is, it uses symmetrical switches each one with the same arity, but now, instead of using parallel links they are disposed in a different manner.

To take advantage of the hardware resources it is proposed to design and implement two different UMINs into the same network. The first UMIN will only use the primary links of each switch port, while the second one will only use the secondary ones.

We might think that any pair of UMINs are compatible and can be implemented into the same network. However, to increase the fault tolerance, reduce the HoL blocking and improve network performance it is necessary that both topologies share the same switches and at the same time allows to reach the same destinations. As a first approach, we are working on devising a new UMIN that can be implemented using only the primary or secondary links of each switch port.

Our approach — As a starting point, for the first UMIN designing a new interconnection pattern for the injection links is proposed. In particular, to offer a different path at injection to the one provided by FT-RUFT-222 the processing nodes will connect with the network input-port whose binary components correspond to the node components but by inverting the second most significant bit. Formally we can say that, a processing node whose components are $p_{n-1}, p_{n-2}, \dots, p_1, p_0$, will connect to the network input-port whose components correspond to $p_{n-1}, \overline{p_{n-2}}, \dots, p_1, p_0$. For example, in a 2-ary 3-tree network, the processing node 0 <000>, will connect with the network input-port 2 <010>, in the same way, the processing node 3 <011>, will connect to the network input-port 1 <001>. By inverting the second most significant node component we obtain a totally different aggregate injection port to the one used by FT-RUFT-222. At this point, it would be possible to use/invert another component to obtain a different injection port, but we chose to invert the second one since we obtain a different permutation to the used in the first stage.

On the other hand, the interconnection between switches is performed through a two-step process. Firstly, we connect the switches that are located between the stage 0 and stage $n-2$ by using the same permutation pattern. Secondly, we connect the switches of the stage $n-2$ and $n-1$ using a different function to the one used in the previous stages. In particular, all switches whose stage identifier s is in the range $0 \leq s \leq n-2$ will use the following permutation function: a network output-port whose components are given by $SP_{n-1}, SP_{n-2}, \dots, SP_1, SP_0$, and which components are in the stage s , will be connected to a network input-port

of the stage $s+1$ where its components correspond to that of the source port, permuting the components 0 and $s+1$ and also inverting the bit $n-1$. Now, the connection pattern between the switches of the stages $n-2$ and $n-1$ is calculated by permuting the components 0 and $n-1$ of the starting port and inverting the second least significant bit of the resulting value.

Fig. 5
FT-RUFT-222 2-ary 3-tree

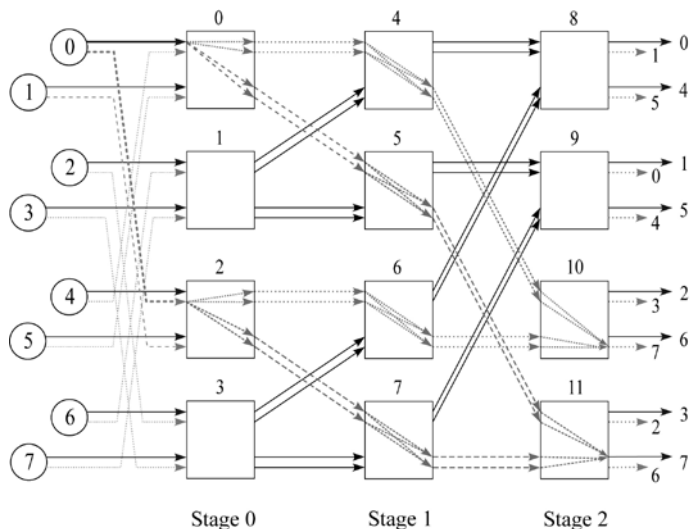
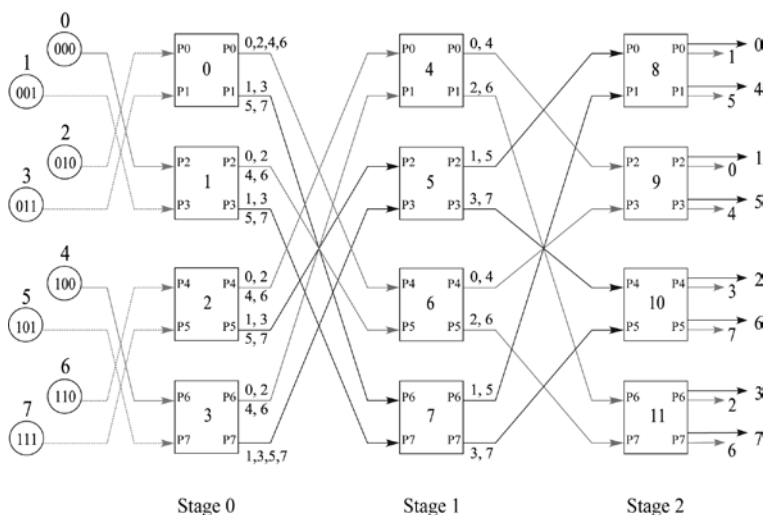


Fig. 6
Proposal for the new UMIN



Finally, ejection links will remain the same as the one used by FT-RUFT-222 since this configuration disposes the processing nodes as far as possible, allowing to implement different paths to provide fault tolerance in an easy way. Fig. 6 shows the first UMIN that will be part of the final topology, which both will increase the fault-tolerance levels and will help reducing the HoL blocking effect.

Conclusions and future work

This proposal presents an UMIN that implements a new interconnection pattern to connect all the elements of the network for a HPC system. By combining this topology with another compatible one it is possible increasing the fault-tolerance at network links and at switch level. Once the topology is finished, unlike other topologies, in each stage packets could take a different path through the interchangeable switches.

As future work, we are working on devising a second UMIN that can be part of the final topology. Also, it is necessary implementing the proposal topology and the appropriate routing algorithm in an event-driven simulator that models several indirect virtual cut-through networks to validate its good properties and compare it against fat-tree and other proposals.

References

- [1] Top 500 supercomputers sites. Available: <http://www.top500.org>
- [2] J. Duato, S. Yalamanchili, and N. Lionel. *Interconnection Networks: An Engineering Approach*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., CA, USA, 2002.
- [3] W. Dally and B. Towles. *Principles and Practices of Interconnection Networks*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., CA, USA, 2003.
- [4] D.S. Parker and C. Raghavendra. The Gamma Network. *Computers, IEEE Trans. on*, 1984.
- [5] R. Rastogi, Nitin, and D. Chauhan. “3-Disjoint Paths Fault-tolerant Omega Multistage Interconnection Network with Reachable Sets and Coloring Scheme”. In *Computer Modelling and Simulation (UKSim)*, 2011 UkSim 13th Intl. Conf. on, 2011.
- [6] R. Rastogi, R. Verma, Nitin, and D. Chauhan. “3-Disjoint Paths Fault-tolerant Multi-Stage Interconnection Networks”. In *Advances in Computing and Communications*. 2011.

- [7] V.P. Bhardwaj and N. Nitin. "A new fault tolerant routing algorithm for advance irregular augmented shuffle exchange network". In *Computer Modelling and Simulation (UKSim)*, 2012 UKSim 14th Intl. Conf. on, 2012.
- [8] R.R. Aggarwal and Dr. L. Kaur. "Fault-Tolerance and Permutation Analysis of ASEN and its Variant". *Intl. Journal of Computer Science and Information Technologies*, 24–32, 2010.
- [9] F. Bistouni and M. Jahanshahi. "Pars network: A multistage interconnection network with fault-tolerance capability". *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2015.
- [10] F. Petrini and M. Vanneschi. "k-ary n-trees: High performance networks for massively parallel architecture". *IEEE Micro*, 15, 1995.
- [11] C. Gómez, F. Gilabert, M.E. Gómez, P. López, and J. Duato. "Deterministic vs Adaptive Routing in Fat-Trees". In *Parallel and Distributed Processing Symp.*, 2007. IEEE Intl., 2007.
- [12] M. Karol, M. Hluchyj, and S. Morgan. "Input versus output queueing on a space division packet switch". *IEEE Transactions on Communications*, 35, 1987.
- [13] C. Gómez, F. Gilabert, M.E. Gómez, P. López, and J. Duato. "Beyond fat-tree: Unidirectional load-balanced multistage interconnection network". *Computer Architecture Letters*, 7(2):49–52, July-Dec. 2008.
- [14] C. Gómez, F. Gilabert, M.E. Gómez, P. López, and J. Duato. RUFT: "Simplifying the Fat-Tree Topology". In *Parallel and Distributed Systems*, 2008. 14th IEEE Intl. Conf. on, 2008.
- [15] D. Bermúdez, C. Gómez, M.E. Gómez, P. López, and J. Duato. FT-"RUFT: A Performance and Fault-Tolerant Efficient Indirect Topology". In *Proceedings of the 22nd Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP)*, pages 405–409, Feb 2014.
- [16] D. Bermúdez, C. Gómez, M.E. Gómez, P. López, and J. Duato. A Family of Fault-Tolerant Efficient Indirect Topologies. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (TPDS)*, 2015.
- [17] D. Bermúdez, C. Gómez, M.E. Gómez, P. López, and J. Duato. Towards an Efficient Fat-Tree like Topology. In *Euro-Par 2012 Parallel Processing*, volume 7484 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 716–728. 2012.

(SUBMISSION 2)

A design pattern approach for RESTful tests: a case study

MAXIMILIANO AGUSTIN MASCHERONI

EMANUEL IRRAZÁBAL

*Universidad Nacional del Nordeste**Corrientes, Argentina*

Abstract

The REST architectural style was introduced as an alternative to the design of web services. It is much simpler than SOAP and WSDL-based services, so many companies have started to use it. This makes the tests carried out on this architecture become more important. Even though there are many tools available, only a few of them can be incorporated to a process of continuous software development, where time is a key factor. In this paper, we present a design pattern for RESTful tests, based on the principles of this architecture and on the unit test basics. The approach has been implemented in three companies of software development as a framework. It has been proved that there has been a 90 % decrease in the time spent during automated regressions and refactoring in a continuous integration environment. Finally, the use of tools to execute automated tests has given rise to other kinds of improvements, such as the automatic generation of reports.

Keywords: web service testing; REST; continuous software development; design pattern.

Introduction

The Representational State Transfer (REST) has grown in support of a much simpler alternative to the Simple Object Access Protocol (SOAP) and to web services based on Web Services Description Language (WSDL) [1].

The adoption of REST by big suppliers of web applications services, such as Google, Yahoo! and Facebook, or by companies like Walmart shows how it is growing in acceptance [2]. These organizations decided to implement REST as a resource-oriented model because it is easier to use [3]. In this context, quality takes on importance. A web service that has not been tested can send to clients unwanted or malicious content, or content containing errors instead of the expected data structures [3].

Nowadays, there are many tools that allow tests on REST services to be performed. However, some of these tools do not allow for the development of automated tests, nor do they allow for their incorporation into continuous integration (CI) servers. Other problem with some of the tools is refactoring: when tests are coded, tests refactoring requires an understanding of the service of tests and of the code and design of the existing tests. For this reason, in this paper, a design pattern that uses the same principles of the development of REST services and that combines them with the principles of unit testing is proposed.

Apart from this introductory section, this paper is composed of 5 sections. Section 2 describes the tools and approaches on web services tests. Section 3 introduces the proposed design pattern and Section 4 shows the outcomes of its implementation. Conclusions and future works are included in Section 5.

Background

In the last years, REST emerged as the prevailing model for service design. Because of its simple style, REST has achieved a great impact on the web and replaced SOAP and WSDL-based interfaces [4]. Roy Fielding defines REST as “an architectural software style for distributed hypermedia systems, such as the World Wide Web” [1].

According to Johnson, most organizations have migrated or started to use architectures based on REST services [5]. This makes a large number of tools appear to run tests on these systems in order to assure their quality. Postman [6] and RESTClient [7] are tools that enable the generation of requests in a much simpler way, which are then sent to the server by returning its response across its interface. SoapUI [8] provides a mechanism to generate automatically a test skeleton for the operations presented in the WSDL. Although it automates the test creation, the produced test cases are incomplete and must be filled in by the programmer. Swagger [9] is a web-based tool that represents REST APIs. In this way, it is possible to test REST services through the generation of requests and the verification of the server’s responses across its interface. Nevertheless, the major limitation on some of them is that they require a manual effort to

verify data obtained from the server with the expected data and the testing time is huge. Moreover, this manual effort results in these tools being unable to be integrated into a continuous software development environment, where automated testing and the CI servers are the main elements. In order to find a solution to these problems, there are suggestions that derive from Github, such as Rest-assured [10].

On the other hand, many approaches about the automation of tests on web services can be found in the literature. A summary of these different approaches is presented in [11] and [12]. However, most of the works focus on web services based on WS-* technologies. Now, the adoption of REST has been growing, but just a few studies about testing of RESTful web services can be found in the literature. Chakrabarti and Kumar [13], [14] propose an approach that aims to generate test cases for testing RESTful web services. However, their approach still requires too much knowledge about testing to configure all the test cases via XML. Reza and Van Gilst [15] introduce a framework that is aimed at simulating RESTful web services by providing functionality for generating and using stubs. Unfortunately, using stubs does not overcome the need to test with real services (run-time testing). Thus, this problem still remains as an open problem and needs more effective solutions [16].

Besson [17], [18], [19] describes an environment for the testing of web services choreographies, which is compatible with REST. It provides a mechanism for the abstraction of choreographies as Java objects, and dynamic clients for web services, including a REST client based on Rest-Assured [10]. It also supports message interception and service simulation.

Some of the tools described above, allow the tester to interact with REST services. However, a few of them cannot be run in a CI server. Other tools can be integrated to CI environments, but their code is difficult to be handled by teams working on a same repository. The rest of the tools can be integrated to custom frameworks allowing the tester to create test scripts using other testing frameworks like Junit [20]. In the articles presented by Besson [17-19], Rest-Assured was integrated into the framework they did, called "Rehearsal". Rehearsal can build the tests using build management tools such as Maven or Ant, and they can be run on CI servers. However, they are coupled to one single REST client (Rest Assured) and the development of test scripts requires coding skills to understand the REST client tool documentation. There is also another problem: refactoring. Any change, deprecation, or deletion on the codebase of the REST client will affect the test scripts.

Our approach does not depend from one single client, and similarly to Besson's approach, it uses objects to model the request and responses of real services and

it can be integrated to a CI server. It also can be used by manual testers that only require knowing the RESTful basics.

The design pattern approach for restful tests

Based on the tools used to create REST services, like Spring RESTTemplate [21], and on unit test-oriented or integration test-oriented frameworks, a solution for the creation of tests on this kind of services can be defined. Thus, we present an approach that can be integrated to existing unit tests frameworks and, therefore, to CI. The approach can be considered as a design pattern that allows developers to create and refactor RESTful tests easily, and invoking web services without relying on special libraries code.

This design pattern for RESTful tests includes:

- The interaction with real REST services without relying on a REST client or on a certain tool.
- The management of data transfer objects in requests and responses.
- A model with two layers for the creation of tests, that allows manual testers to write test scripts easily. These tests also can be run on CI servers.

Interaction with REST services

In the first place, a solution to the problem of dependency is sought using the concept of interfaces in object oriented programming. By creating an interface, it is possible to define methods representing HTTP verbs that will interact with services, regardless of its implementation (See Fig.1).

Fig. 1
HTTPClient Interface

```
package com.service.http;

public interface HTTPClient {

    public HTTPResponse get(HTTPRequest request);
    public HTTPResponse post(HTTPRequest request);
    public HTTPResponse put(HTTPRequest request);
    public HTTPResponse delete(HTTPRequest request);
    public HTTPResponse patch(HTTPRequest request);
}
```

Each class that implements this interface, will have the code to interact with the REST services in accordance with the REST client used. There will be as many interface implementations as REST clients that are needed to be used. In Bhandari's article [22], a list of different REST clients to be implemented together with the Java language can be found. In this way, each class will be the wrapping of a REST client. In Fig. 2 the implementation of a GET method can be seen by using RESTTemplate [21].

Fig. 2

Implementation of a “GET” method within an implementation class of the interface

```
public HTTPResponse get(HTTPRequest request) {
    URI uri = request.getURI();
    HTTPHeaders headers = request.getHeaders();
    HTTPEntity requestEntity = new HTTPEntity(headers);
    Class<?> responseType = request.getResponseTypes();
    this.executeHTTPAction(uri, HTTPMethod.GET,
        requestEntity, responseType);
}

private HTTPResponse executeHTTPAction(URI uri,
    HTTPMethod method, HTTPEntity<?> requestEntity,
    Class<?> responseType) {
    try {
        ResponseEntity response =
            this.restTemplate.exchange(uri, method,
                requestEntity, responseType);
        HTTPHeaders responseHeaders =
            new HTTPHeaders(response.getHeaders());
        int statusCode = response.getStatusCode().value();
        return this.createResponse(statusCode, "OK",
            response.getBody(), responseHeaders);
    } catch (HttpClientErrorException e) {
        return this.manipulateHTTPException(e);
    } catch (HttpServerErrorException e) {
        return this.manipulateHTTPException(e);
    }
}
```

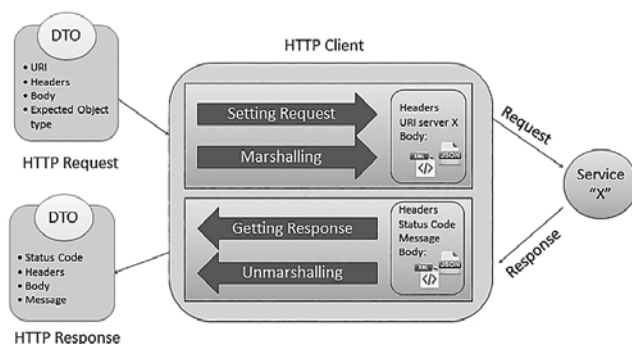
As illustrated in Fig. 1 and Fig. 2, the methods representing HTTP verbs return an HTTPResponse object. This class is a server's response representation, but each REST client handles its own type of “server's response” object. Therefore, it is necessary to generalize them. The HTTPResponse class contains methods to extract three elements from the response: a list of headers, the response's status code and the body of the response. Moreover, requests are created by using an HTTPRequest class, where all the necessary parameters needed to make the request are established.

Data transfer object management

As mentioned above, both the requests and the responses are object classes. In order for deserialization to take place, any tool that enables the processing of formats that support HTTP, like Jackson [23], may be used. The request can be any simple object that, by way of a serialization will be turned into the format the server asked for. The response, on the other hand, can also be any simple object (see Fig. 3).

Fig. 3

Request/Response manipulation with DTOs

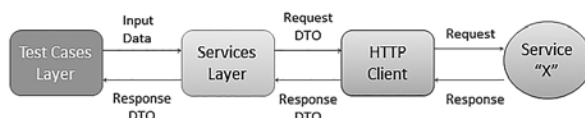


Apart from the body, the other attributes (URI, headers, the status code or message, among others) need to be handled in the same way in the tests and by the different types of REST clients. The solution adopted was the use of the Data Transfer Object (DTO) pattern [24], which enables the creation of request and response objects to carry data among the different entities taking part in the process. In this way, an object (DTO) for the request contains the URI, the headers, the request body and the format (the object type) of the response that will be asked for. The DTO for the response contains the status code, the message, the headers and the response body in the requested format.

Model for the creation of tests

The model proposed consists of dividing the logic of interaction with the web services from the test cases layer. One of the main reasons of this is to comply with the pattern AAA [25], which establishes that the preconditions and entry data must be prepared at the beginning; after that, they have to be ran and lastly, they have to verify that expected results are met. On the other hand, an improvement in the tests maintenance is sought, thus allowing the required effort to preserve their correct operation be reduced. Because of this, two layers are presented: the service layer and the test layer. These layers and their relationship with other components can be seen in Fig. 4

Fig. 4
Workflow



Service Layer

It contains special classes known as services. In the same way, the PageObject pattern [26] enables the division between a web page implementation and the tests, the service layer isolates tests from:

- The specification of the client to be used
- The parameter setting to create the request
- The creation of the request
- The getting of the response

Each method within the service layer will represent an operation available to that service. So, the interaction with the server, for the test layer, is transparent.

Tests Layer

Tests will be in this layer. Each of them should follow the steps below:

- The service class to be used must be defined.
- The service operation must be invoked.
- Whether the service responded correctly must be verified through its status code.
- Assertions must be made.

With steps 1 and 2, the service class to be used is defined and instantiated, and the method representing the expected operation is invoked. This will result in an `HTTPResponse` object which contains the methods to gain access to the variables and to make the evaluations described in steps 3 and 4. The execution of the tests and the assertions is performed by using automation test execution tools like JUnit.

Test frameworks are supported by tools like Ant, Maven or MSBUILD, which at the same time, support CI servers such as Jenkins, Bamboo or CuirseControl. Thus, test scripts can be run on CI servers.

Implementation of the design pattern in the industry

The proposed design pattern has been applied in three companies that carry out different activities and that have continuous development processes in the IT area. Using the design pattern, we have created a framework composed by the following tools: Maven, Java, Spring RestTemplate, TestNG and ReportNG. A detailed description of the involved companies, number of teams and projects is presented in Table 1.

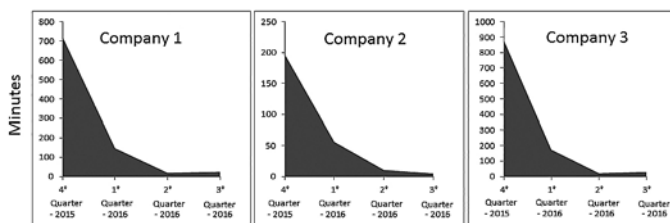
In total, 112 people participated of the evaluation. 30 % of them were manual testers, 60% of them were software engineers in test, and 10% of them were developers. In these companies, the testing of web services has started in the last quarter of 2015. The framework was implemented in the second quarter of 2016. The evolution of the process of RESTful testing during the evaluation time can be seen in Fig. 5. Data were collected from tracking tools and CI server reports. The following 4 characteristics were considered to measure the evolution:

- The time to create a test case by manual testers.
- The time to execute a suite of 100 test cases.
- The time required to make a variety of changes (refactoring).
- The time required to generate the files.

Table 1

Description of companies where the proposed approach was implemented

Com- pany	Description	N° of teams	N° of pro- jects	Date of the implemen- tation
Com- pany 1	It is a software development company serving clients worldwide. The company operates offices in the United States and Europe. It provides cloud-based solutions and services.	18	27	03/14/2016
Com- pany 2	It is an online travel agency that provides access to book flights, hotels, tour packages, car rentals, cruises, and apartment rentals in various destinations worldwide.	5	5	04/11/2016
Com- pany 3	It is a company that operates in the United States. Its website topics include geography, archaeology and natural science, the promotion of environmental and historical conservation, and the study of world culture and history.	22	16	05/02/2016

Fig. 5Evolution of the process of tests on web services
in the companies measured in minutes

As shown in Fig. 5, in the last quarter of 2015, the average time of execution of tests on web services was 2243 minutes. This is mainly since tests were performed manually, using tools such as Postman or Swagger. For this reason, considering Besson's articles [17], [18], [19], in the first quarter of 2016, the continuous improvement community teams of the different companies decided to implement a REST client solution for the automation of the test cases. This reduced the time of their execution significantly. However, a lot of time was spent on understanding the way the tool could be handled and on applying each

upgrade of the tool to each of the tests. The average time to write a test was between 1 and 2 hours. Refactoring could take a person's entire day of work. Finally, a solution that consisted in the implementation of a framework using the design pattern for RESTful tests described herein, was adopted. The results of the implementation can be seen in the second and third quarter of 2016.

Table 2 shows the average time (expressed in minutes) of the 3 companies pursuant to the characteristics considered to measure the evolution of the process of web service tests.

Table 2
Comparison of the characteristics associated with the tests
pursuant to different approaches

Characteristics	Without Automation	Framework based on a REST client	Approach Proposed
Creation of a test case	5 min.	90 min.	30 min.
Batch test execution	2243 min.	37.5 min.	12.5 min.
Refactoring	N/A	398.5 min.	74.5 min.
Documents	151.5 min.	1 min.	1 min.

It has been proved that with the framework based on REST client as well as with the framework proposed, a reduction by 95% in the time employed to make automated regressions with a continuous integration server is achieved. With the proposed approach, the test case creation time has been minimized to 30 minutes. Also, the amount of refactors and the time to perform them have decreased 80%. Besides, positive comments were made on the detection of errors that were overlooked with manual testing. Another mentioned advantage was the automatic generation of reports.

Conclusions and future works

Companies that are migrated to/turning into REST services technologies are many, and tests on these technologies are taken on importance. Even though there are a lot of tools, only a few of them can be integrated into a continuous software development process where time is an essential aspect.

Through the integration of the REST architectural principles used for the development of REST services, and the tools used to run unit or integration tests, it was possible the definition of a design pattern for RESTful tests that allows the development of automated tests for REST services. In order to validate

the effectiveness of the pattern, a framework was created and implemented on three different companies.

The results show that the execution time of a suite of tests was reduced by 90% in a continuous integration server that was 100% automated. Moreover, the average time to make a test case and the amount of refactoring was reduced. The generation of reports is also a totally automated task carried out through automation test execution tools. Finally, people responsible for the quality area state that thanks to the framework implementation, reliability has significantly increased due to the fact that some errors could be overlooked with manual testing. The companies were able to improve their release process in terms of speed, by decreasing the time of the service testing. The risks associated with a release have also decreased, and the release process has become more reliable due to the number of automated tests.

It is important for the software industry that produces software in short cycles, to ensure that the software can be reliably released at any time. The approach presented in this paper is one of the ways to aim this goal by improving the web service testing stage.

In the future, we plan to expand the scope of this approach to the testing of other types of web services like SOAP technologies. We will continue to monitor the use of the framework already applied in companies and new application will be sought in other companies. Also, as an improve to the framework, we will look for test data generation techniques.

References

- [1] R. Fielding, "Architectural styles and the design of network-based software architectures," University of California, Irvine, PhD Thesis. 2000.
- [2] J. Sharma and M. Singh, "Web Services Oriented Architecture for DPI based Network Forensics Grid," *International Journal of Energy, Information and Communications*, vol. 6, no. 3, pp. 19-28, 2015.
- [3] L. Richardson and S. Ruby, *RESTful Web Services*. California, USA: O'Really Media, Inc., 2008.
- [4] U. Klein and K. S. Namjoshi, "Formalization and Automated Verification of RESTful Behavior". In *CAV*, pp. 541-556, 2011.
- [5] R. Johnson, "REST and Web Services: In Theory and in Practice," *Research Gate*, December, 2010.

- [6] Postman. [Online]. Available: <https://www.getpostman.com/>
- [7] RESTClient. Mozilla Firefox. [Online]. Available: <https://addons.mozilla.org/es/firefox/addon/restclient/>
- [8] SoapUI. SMARTBEAR. [Online]. Available: <https://www.soapui.org/>
- [9] Swagger. APIS.Guru: A Wikipedia for web APIs. [Online]. Available: <http://swagger.io/>
- [10] Rest-assured. [Online]. Available: <https://github.com/rest-assured/rest-assured>
- [11] G. Canfora and M. Di Penta, "Service-oriented architectures testing: A survey," *Software Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 78-105, 2009.
- [12] M. Bozkurt, M. Harman, and Y. Hassoun, "Testing web services: A survey," Department of Computer Science, King's College London, London, Tech. Rep TR-10-01, 2010.
- [13] S. K. Chakrabarti and P. Kumar, "Test-the-rest: An approach to testing restful web-services," in *Future Computing, Service Computation, Cognitive, Adaptive, Content, Patterns*, 2009. COMPUTATIONWORLD'09. Computation World. IEEE, November 2009, pp. 302-308.
- [14] S. K. Chakrabarti and R. Rodriguez, "Connectedness testing of restful web-services," in *Proceedings of the 3rd India software engineering conference*, 2010, pp. 143-152.
- [15] H. Reza and D. Van Gilst, "A framework for testing RESTful web services," in *In Information Technology: New Generations (ITNG)*, 2010 Seventh International Conference. IEEE, 2010, pp. 216-221.
- [16] M. Bozkurt, M. Harman, and Y. Hassoun, "Testing and verification in service-oriented architecture: a survey," *Software Testing, Verification and Reliability*, vol. 23, no. 4, pp. 261-313, 2013.
- [17] F. Besson, P. Leal, and F. Kon, "Rehearsal: A framework for automated testing of choreographies," University of Sao Paulo, Department of Computer Science, Tech. Rep. RT-MAC-2011-05, 2011.
- [18] F. M. Besson, "A framework for automated testing of web service choreographies," University of Sao Paulo, Sao Paulo, PhD Thesis 2011.
- [19] F. Besson, P. Moura, F. Kon, and D. Milojicic, "Bringing Test-Driven Development to web service choreographies," *Journal of Systems and Software*, vol. 99, pp. 135-154, 2015.

- [20] JUnit. (2002) JUnit. [Online]. Available: <http://junit.org/junit4/>
- [12] Pivotal. Spring RESTTemplate. [Online]. Available: <https://spring.io/>
- [22] S. Bhandari. (2011, January) List of tools for Rest Web Services in Java. DZone. [Online]. Available: <https://dzone.com/articles/list-tools-rest-web-services>
- [23] D. Peng, L. D. Cao, and W. J. Xu, "Using JSON for data exchanging in web service applications," *Journal of Computational Information Systems*, vol. 7, no. 16, pp. 5883-5890, 2011.
- [24] M. Fowler. (2010) Data Transfer Object. [Online]. Available: <http://martinfowler.com/eaCatalog/dataTransferObject.html>
- [25] Microsoft Developer Network. (2016) Unit Test Basics - AAA Pattern. [Online]. Available: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh694602.aspx>
- [26] M. Fowler. (2013, September) PageObject. [Online]. Available: <http://martinfowler.com/bliki/PageObject.html>

(SUBMISSION 172)

Analyzing the impact of information retrieval and relevance feedback on concept location tasks. A controlled experiment

ANDRÉS WILCHES

JAIRO APONTE

*Departamento Ingeniería de Sistemas e Industrial
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia*

Abstract

Concept location is the process by which a programmer determines the place, within a system codebase, where a change is to start in response to a modification request. It is a usual and fundamental process performed as part of software maintenance tasks such as bug fixing, refactoring, and in some cases, new feature implementation. One of the recent approaches proposed to support that process augments information retrieval (IR) based concept location via an explicit relevance feedback (RF) mechanism.

This paper presents a tool that implements the IR+RF approach and a controlled experiment aimed at assessing the impact of that approach on bug fixing tasks. Within the experiment, five bug fixing tasks were performed by 40 undergraduate software engineering students. The efficiency of the participants, the completion time, and the correctness of their responses were measured. The results indicate that the IR+RF approach surpasses in correctness and efficiency the default

searching functionalities provided by the Eclipse IDE. On the other hand, it does not reduce the completion time in bug fixing tasks.

Keywords: Concept Location, Information Retrieval, Relevance Feedback, Controlled Experiment.

Introduction

Finding the part of a software system in which a problem domain concept is implemented is an essential task in software maintenance. For instance, this task appears when a developer needs to determine the source code location where a change is to start in response to a modification request. Nowadays *Concept location* is defined as the process that identifies where a software system implements a specific concept.

Information retrieval methods have been used to address the concept location problem [1-9], [10], [11]. Information retrieval (IR) is a discipline that deals with the retrieval of unstructured data, especially text documents. [12] defines IR as “finding material (usually documents) 1of an unstructured nature (usually text) that satisfies an information need from within large collections (usually stored on computers).” In the context of concept location, the IR method is used to map domain concepts expressed as developer queries to source code artifacts. Once the resulting list of artifacts is calculated by the IR method, the developer inspects and evaluates those results. This querying-inspecting cycle normally requires being repeated several times until the developer finds the desired software artifact.

On the other hand, relevance Feedback (RF) is an automatic approach that aims to improve query formulation within information retrieval processes. RF is a two-part process: first, the developer judges and assesses the relevance of existing results returned by a search. Then, the information retrieval system uses this feedback information to perform a new search, and (hopefully) return more relevant results to the developer [1]. The classic algorithm for implementing RF is the *Rocchio* algorithm [13]. *Rocchio* was developed using the Vector Space Model and it is based on the assumption that the user knows which documents should be denoted as relevant or non-relevant [12].

Gay et al [1] proposed an approach for concept location that combines an IR method and a RF algorithm. The novelty of that approach relies in the use of RF to enhance an IR method in two ways: (i) improving the developer’s ability to write better queries throughout the entire concept location process, and (ii) allowing the developer to use the knowledge gained when inspecting a particular

resulting list by incorporating it in the next query. With the aim of empirically evaluating that approach, we carried out a controlled experiment [14]. Thus, we collected evidence to determine whether the usage of an embedded information retrieval and relevance feedback tool increases the developers' performance when they have to carry out concept location tasks.

This paper presents the Eclipse plugin that implements the IR+RF approach and the controlled experiment designed to compare the performance of the approach with the standard Eclipse searching functionalities.

Related work

Several approaches to deal with concept location have been developed. These can be broadly classified into static, dynamic and combined analysis based approaches. In [15], a survey was carried out to discuss in detail the existing approaches. Marcus and Haiduc [10] present and discuss the application of several Text Retrieval techniques to support concept location. In [2] an information retrieval method called Latent Semantic Indexing (LSI) was applied to map concepts, expressed by developers in natural language, into relevant code fragments. Marcus et al. [3] used static concept location techniques in Object-Oriented code such as regular expression matching, static program dependences, or information retrieval. They compared these techniques to determine their strengths and weaknesses.

Poshyvanyk and Marcus [4] augmented an existing technique based on information retrieval for concept location with the automatic organization of the searching results using Formal Concept Analysis (FCA). Gay et al. [1] proposed an approach to augment IR-based concept location with an explicit relevance feedback mechanism. They performed a case of study with one developer to determine the impact of IR and Relevance Feedback (RF) on finding buggy methods, based on bug reports, on open source projects. The main objective of this case of study focused on analyzing the effect of RF in tasks as fault localization. On the other hand, we performed a controlled experiment between two groups, one used the IR+RF approach (baseline) and the other one used the default eclipse features for searching.

Later, Scanniello and Marcus [5] presented a new approach to static based concept location that combines structural and lexical information. They used an IR-based approach which formulates concept location as a text retrieval problem. Poshyvanyk et al. [6] enhanced an existing IR-based technique for concept location with an automatic clustering of the search results through Formal Concept Analysis. In [16] a user study was conducted in order to de-

termine how developers behave when using an Information Retrieval tool to perform fault localization tasks, based on bug reports. Scanniello and Marcus [11] implemented a concept location solution using the PageRank algorithm. They conducted a controlled experiment and replications to assess if their new technique helps the user to find the places where a change has to be made in the code.

A crucial activity for searching effectiveness during the concept location process is the formulation and improving of queries. Haiduc et al. [7–9] presented several approaches to assess and reformulate queries and improve their quality. These are useful in software engineering tasks, such as concept location or impact analysis, when developers are looking for source code artifacts. Text Retrieval (TR) techniques were used to evaluate the quality of queries and to predict and reformulate them in order to improve the results that allow developers to reach their goals when they are searching in a source code.

The eclipse plugin

We built an Eclipse plugin that implements the IR+RF approach for concept location. The plugin [17] allows the users to make queries and explore source code within the Java default perspective. We created a new view and called it “IR Searcher”.

The IR+RF approach for concept location

The tool followed most of the IR based concept location principles, established in [1]:

1. *Corpus creation:* The code was parsed using methods as granularity level. The user should choose the root folder of the project that he wants to look for. We use an Abstract Syntax Tree (AST) to visit all the Java methods in the project. The documents indexed are the methods visited with the AST. We process the text of the header and body of the methods and apply text retrieval techniques like stop words removal, Java stop words (while, for, if, new, etc.) removal, identifier splitting (we kept original identifiers), stemming, etc. The user can select another project and either add to existing index or create a new one.
2. *Corpus indexing:* We use Apache Lucene for indexing the corpus [REF]. It uses the Vector Space Model (VSM) algorithm to store a mathematical representation of the corpus. Each method has its representation in the in-

dex. In VSM each document has a vector model as a vector of weights that span over the words of corpus [1]. VSM was chosen because RF techniques were developed specifically for this IR algorithm.

3. *Query formulation*: The developer uses a set of words within specific syntax rules defined by Lucene [18] to formulate queries. Lucene parses the query and returns the documents, i.e., Java methods that match the query. Queries receive the same text retrieval pre-processing treatment as the methods in corpus creation.
4. *Ranking documents*: Lucene sorts documents retrieved by a query according to its rank. The rank is assigned according to how closely each result match the query [19].
5. *Results examination*: The developer can review a ranked list of Java methods that satisfy a query. The programmer can visit the source code by clicking on the method that wants to investigate in the results' list.
6. *Relevance feedback*: The tool uses an explicit feedback mechanism. That means that the developer has to select the methods he considered relevant, and based on that information, the query is rebuilt. To do that, the tool considers the original terms and the terms of documents considered relevant, and removes the terms of documents considered as not relevant. We use a modified version of original Rocchio Relevance feedback algorithm introduced in Equation 1[1]. A new query Q' is built with the terms of original query Q multiply by the alpha factor; plus, the beta weight factor divided by the number of documents retrieved by the query Q marked as relevant, multiply by the sum of terms of the set of documents d judged as relevant R_q ; minus gamma factor divided by the amount of documents pondered as irrelevant from the original query, multiply by the sum of the terms of the documents deemed as irrelevant I_q .

$$Q' = \alpha Q + \frac{\beta}{|R_q|} \sum_{d \in R_q} d - \frac{\gamma}{|I_q|} \sum_{d \in I_q} d$$

(1)

Experimental design

The aim of the experiment is to provide empirical evidence of the efficiency and effectiveness of the IR+RF approach when compared to standard searching features provided by the Eclipse IDE.

Research questions

We formulated the following research questions:

- **RQ1:** Does the IR+RF approach reduce the *time* needed by developers and improve performance of them when they perform concept location tasks, compared to default Eclipse IDE searching features?
- **RQ2:** Does the IR+RF approach improve the *correctness* of the solutions for concept location tasks, compared to default Eclipse IDE searching features?

Hypotheses

Based on the two research questions, we formulated the hypotheses of Table 1:

Table 1
Hypotheses formulation

Null hypothesis	Alternative hypothesis
H10: There is no significant difference in time to complete between the IR+RF and Eclipse groups for concept location tasks	H1: There is a significant difference in time to complete between the IR+RF and Eclipse groups for concept location tasks
H20: There is no significant difference in the number of revised methods between the IR+RF and Eclipse groups for concept location tasks	H2: There is significant difference in the number of revised methods between the IR+RF and Eclipse groups for concept location tasks
H30: There is no significant difference in the number of marked methods between the IR+RF and Eclipse groups for concept location tasks	H3: There is significant difference in the number of marked methods between the IR+RF and Eclipse groups for concept location tasks
H40: There is no significant difference in the number of formulated queries between the IR+RF and Eclipse groups for concept location tasks	H4: There is no significant difference in the number of formulated queries between the IR+RF and Eclipse groups for concept location tasks

Dependent and Independent variables

The experiment has only one independent variable: the tool used to solve the concept location tasks. Thus, the tool variable has two treatments, i.e., the IR+RF approach (Tool) and a baseline which is the default features provided by the Eclipse IDE (No Tool). To measure the effect of using the IR+RF approach, implemented as an Eclipse plugin, to support concept location tasks against the default Eclipse IDE features, we consider three dependent variables: effort, correctness, and efficiency.

Effort (completion time) refers to the time required by a developer to complete a concept location task e.g. localizing a fault. *Correctness* is a binary variable that indicates if the user successfully completed the concept location task. *Efficiency* is the number of methods reviewed and marked, and the queries formulated by the developer when performing the concept location task.

Control Variables

We use the experience level and Java knowledge as control variables, since it allowed us to divide the participants into two balanced groups and assign them to the treatments (Tool and No tool). Thus, before performing the controlled experiment we examined the experience level of participants through a demographic survey and divide them according to it.

Subject system

We chose ADempiere Business Suite, an industrial open-source software solution that combines ERP, CRM and SCM support for business process. This system is a large size project with a well-documented bug report system and an active community. For the controlled experiment, we considered the version 3.8 launched on March 1th 2015, which has approximately 11 million LOC, 68 % of which are written in java, 5.234 classes, 376 packages, and 89.335 methods.

Participants

The participants were 40 undergraduate students enrolled in a software engineering course at Universidad Nacional de Colombia. We divided them into two groups according their knowledge and experience with the Java programming language, Eclipse IDE, and Eclipse searching features. We did maintain a balance between the groups with respect that expertise as much as possible. One group, named as henceforth the Tool group, used the Eclipse plugin that implements the IR+RF approach for concept location. The other group, that we named the No-Tool group used the default features of Eclipse for searching.

Tasks

We chose five bugs from the ADempiere issue tracker system and reviewed approved patches for them. By contrasting the correction reported in further versions for each bug, we determined the method that was modified in order to fix the bug. This approach was used in [1].

Procedure

Two days before conducting the experiment, the participants attended a tutorial session where we presented the ADempiere system, the plugin features (usage

and query formulation syntax), and the Eclipse search features. Then, they responded the demographical survey, which allowed us to divide the participants in two groups as homogeneously as possible based on their previous experience with Java and Eclipse.

In the experimental session, once the subjects were divided in the two experimental groups, they received the title and description of five bugs, which were shown randomly in a Qualtrics survey. We measured the time spent by each participant since the bug was shown until she finished the task. Depending on the group, the participants use either the tool or the Eclipse IDE default search features to find the target method that fix the bug.

For the No-Tool group we modified Eclipse so as to track the results of each Java search and allow subjects to select and explore the methods in the resulting list. Furthermore, we stored how many methods were revised and marked by participants, how many queries or searches were made, and we also monitored the results so that we know when the target method of a specific bug was found. We did the same in the Tool group to keep track of the actions of both groups.

The experimental session was limited to two hours. The following instructions were given to the participants at the beginning of session:

- In this experiment, you will find the description of five bugs. For each bug, you have to find what method needs to be modified in order to fix the bug. That method is called *the Target Method*. There is only one target method for each bug.
- In order to make the initial query, you can use terms from the bug title or description as keywords.
- You are able to formulate the queries and freely revise the resulting list of methods. Once you have obtained the results of a search, you have to mark the methods that you believe have to be modified in order to fix the bug, and then, click the check button in order to verify whether the target method has been found. You can mark as relevant maximum 30 methods in total.
- If you have not found the target method (after using the check button), you have three options: i) use the feedback (this option is only available for the Tool group), ii) review and select other methods, or iii) reformulate the query to start a new search.
- You can continue until either you have marked 30 methods or the target method is found. In the last case, the task was successfully completed for the bug at hand.

- Once a task is completed, Eclipse shows relevant information such as correctness, revised and marked methods, and formulated queries. You must copy this information and paste it in the Qualtrics survey.

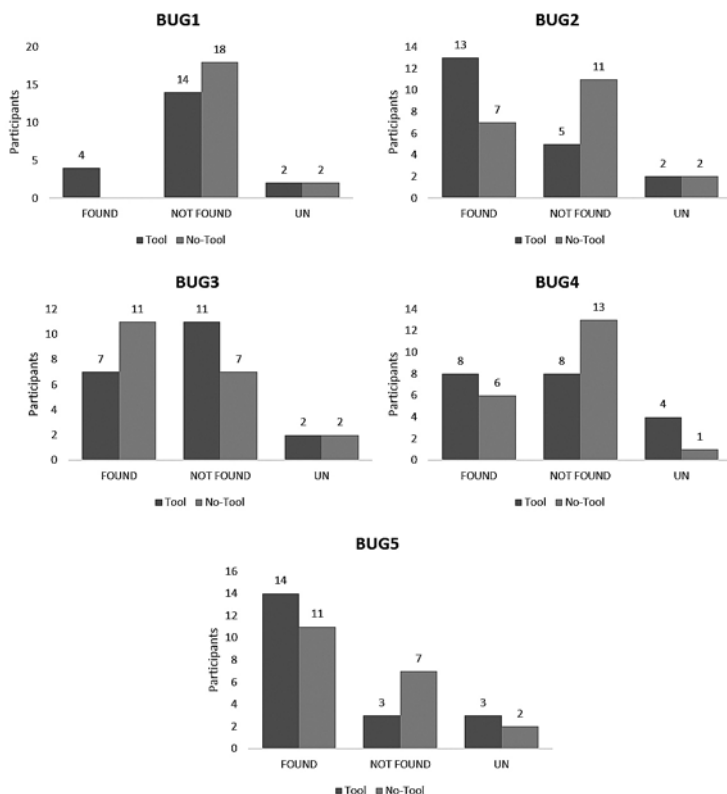
Once the five tasks were completed a post-experiment questionnaire was used to collect participants' thoughts about relevance feedback as a code searching support, and their opinions about the experiment itself.

Results analysis and discussion

Analysis of results

First of all, in order to analyze the results, we see how many participants (not) found the target method for each bug. Some participants did not have enough time to complete all tasks, so that some bugs are considered as unexplored (UN).

Fig. 1
Correctness of tasks by participants



As shown in Fig. 1, for almost all bugs the participants in the Tool group had better performance than those in the No-Tool group, in terms of target methods found. In 4 of the 5 tasks the participants with the tool found more bugs than the ones who used default Eclipse IDE features. For bug1 no one in the No-Tool group found the target method. In average the Tool group found 2.3 bugs while the No-Tool group participants found 1.75. Bug 3 was an exceptional case where the No-Tool group outperformed the Tool group. We think some terms in the title or bug description may negatively influence the performance of the Tool group, since participants took keywords from there to write queries.

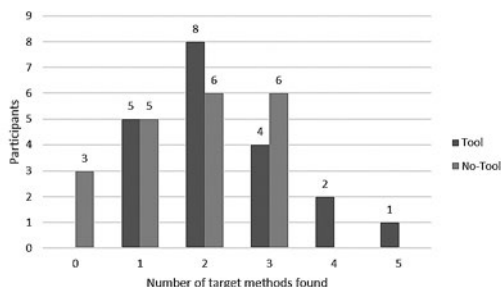
Secondly, we made a histogram for the number of target methods found by participants of each group. Fig. 2 shows that subjects in the Tool group found at least one target method, while in the No-Tool group three subjects did not find any buggy method. Furthermore, the maximum number of target methods found by the No-Tool group was 3, while 4 and 5 target methods were found by some of the participants in the Tool group.

Discussion

Gay et al. [1] only performed several task with N (1, 3 and 5) marked methods in each round of feedback, they measure the number of methods marked to reach the target method and the number of feedback rounds. The baseline is the position (according the rank) of the target method in initial query and they measured whether the RF mechanism improved the position of target method in ranked list after marking N methods in each feedback round and several feedback rounds. On the other hand, we measured for each task the correctness, time spent, marked and reviewed methods, formulated queries and number feedback rounds (for the Tool group). So, Gay et al. metrics can be compared with our work in terms of efficiency and correctness because they reported the marked methods and feedback rounds and when the feedback mechanism helped to reach the target method or failed.

Before making hypothesis testing we performed several statistical normality tests to check whether there is normality in the results. We applied five tests available in 'nortest' package [20] of R. For each numerical variable collected for each bug (time spent, marked methods, revised methods and queries formulated) we performed Anderson-Darling Cramer-von Mises, Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov), Pearson chi-square, and Shapiro-Francia tests for normality and found that the p-values of each test are lower than 0.05. Thus, none of variables have normal behavior.

Fig. 2
Number of participants that found target methods by group



Therefore, we applied Mann-Whitney test [21], a well-known non-parametric test. We compared the results of the Tool and No-Tool groups who completed the tasks, i.e. the participants who found the target method of each bug. First, we perform the hypothesis tests that we stated in Table 1. Since for bug 1 none of the No-Tool participants completed the task, we concluded that in bug 1 the Tool group outperformed the No-Tool group. Table 2 shows that there are meaningful differences in highlighted performance variables (revised methods of bug 2, marked methods of bugs 2 and 4, and queries formulated of bugs 2, 3 and 5) for each bug, since p-values are less than 0.05, and therefore, the null hypothesis must be rejected. For the other performance variables measured according to the performed hypotheses tests we cannot conclude that there was meaningful difference between subjects who complete successfully the task of the Tool and No-Tool group.

Table 2
P-values of mann-whitney hypothesis tests (tool vs. No-tool)

MANN-WHITNEY Tool vs. No-Tool				
Bug	Time spent	Revised methods	Marked methods	Queries formulated
2	0,114600	0,008218	0,031100	0,000820
3	0,791400	0,525900	0,617500	0,050790
4	0,413600	0,365600	0,016680	0,516300
5	0,291500	0,323800	0,271800	0,009190

We need to know what group has better performance, so we performed a hypothesis test where H_0 : the mean of performance variables of No-Tool group is less or equal than the mean of performance variables of Tool group, and H_1 : the mean of the performance variables of No-Tool group is greater than the mean of the performance variables of Tool group. We only did this hypothesis test on performance variables where previous tests show meaningful differences.

Table 3 shows that highlighted p-values are less 0.05, so that the null hypothesis should be rejected. It means that with exception of bug 4, for the number of formulated queries by bug, the Tool group outperformed the No-Tool group, i.e., the members of the Tool group had to formulate less queries than the participants of the No-Tool group to successfully complete the tasks. Regarding the number of revised and marked methods, only in bug 2 the subjects of the Tool group had to revise and mark less methods than the No-Tool group members to complete this task. With regards to time spent, we did not find statistical evidence of a significant difference between the Tool group and No-Tool Group. On the other hand, the No-Tool group participants outperformed the Tool group in bug 4, since they had to marked less methods for completing the task, that is to say, it was the only one performance measure where there is statistical evidence that the No-Tool group surpassed the Tool group. In the end, in the performance variables where hypotheses tests showed meaningful difference between two groups, the Tool group surpassed to the No-Tool group with exception of marked methods of bug 4.

Table 3
P-values of mann-whitney hypothesis tests (tool vs. No-tool)

MANN-WHITNEY Tool vs. No-Tool			
Bug	Revised methods	Marked methods	Queries formulated
2	0,004109	0,01555	0,0004101
3			0,0254
4		0,9942	
5			0,004595

Threats to validity

In this section, we discuss the threats to the validity of the experiment results. The internal validity refers to unexpected factors that may compete with our independent variable and affect the values obtained for the dependent variables. First of all, to reduce the threat that the participants may not be competent to perform the tasks, we conduct a tutorial session where they learned how to use the Eclipse plugin for concept location purposes. Moreover, we familiarized them with the main features and modules of the ADempiere Business Suite, and reviewed the main search features offered by the Eclipse IDE. Second, based on the answers to the demographic survey, we grouped the subjects such that both groups would have participants with fairly similar programming skills and experience with the Eclipse IDE. In this way, we moderated the threat of an unbalanced distribution of the subjects' expertise across the two groups. Third,

we conducted a pilot study with two students that allowed us to calibrate the tasks' difficulty and estimate the time required to carry out each of them. Based on this information, we selected the five bugs and decided to give them two hours to find the target methods. Fourth, the participants were not informed about the study objectives, and they did not know which group they were before performing the study. Lastly, we limited the learning effect by presenting the five tasks in random order.

The external validity refers to the degree of generalization of the experiment's results across individuals, settings, and times. As in all controlled experiments, the degree of generalization is low since in real situations there would be a lack of control over all the manipulated factors. First of all, we have to admit that the experiment results may have been different if the subjects had been experienced professional developers. Thus, for comparison purposes, a replication of this experiment with professional developers is more than desirable. Secondly, although the selected tasks are real tasks extracted from the bug tracker system of the ADempiere project, we restricted the experiment to include only bug fixing tasks where only one method needs to be changed. This fact reduces the representativeness of our tasks, and therefore, it makes difficult to extrapolate the results to other types of concept location tasks.

Construct validity refers to the validity of the measures used to quantify the dependent variables of the experiment. With respect to correctness, we identified from the ADempiere source code repositories the method that was modified in order to fix each bug so that the solution corresponds exactly to what was done by the real developers of ADempiere. Regarding the effort, the Qualtrics features to automatically measure and save the time spent by each participant were used. Finally, to measure the efficiency related variables, we implemented the required functionality to keep track of that kind of information.

Conclusion validity refers to the ability to draw the correct conclusions based on the data collected. Before making hypothesis testing we performed several statistical normality tests to check whether there is normality in the results. Since we found that the distribution is non-normal, we applied Mann-Whitney test [21], a well-known non-parametric test. Then, we compared the results of the Tool and No-Tool groups who complete the tasks, i.e. the participants who found the target method of each bug.

Conclusions and future work

We present a controlled experiment for the empirical evaluation of an IR+RF approach for concept location. Moreover, we describe an Eclipse plugin that

implements that approach and was a fundamental tool to achieve the goals of the experiment. In the experimental session, five bug fixing tasks were carried out by 40 students enrolled in a Software Engineering course. The subject system was ADempiere Business Suite, an industrial open-source software solution that combines ERP, CRM and SCM support for business process. For each bug fixing task we measured the time required by a developer to complete the task, its correctness, and the number of methods reviewed and marked, as well as the queries formulated by the developer when performing the task.

Results indicate that the use of an IR+RF based tool has a positive impact when developers are dealing with concept location tasks such as bug localization. As far as performance measures are concerned, in order to answer the RQ1, we proved that in almost all tasks the Tool group outperformed No-Tool group in at least one of these measures.

Moreover, we found that the tool increases the correctness of solutions when developers carry out fault localization tasks. For almost all tasks, more participants in the Tool group successfully completed them than those who used Eclipse IDE default features, considering the size and little knowledge of system.

Perhaps we did not have enough statistical evidence with other performance measures, so that we need to consider other experimental settings such as industry people, graduated students, open source developers, etc. in order to collect more evidence about the effect of the IR+RF approach.

As a future work, we plan to evaluate the impact of our IR+RF based tool with other concept location tasks, as in this experiment we only used it for bugs' localization problems. Another evaluation we could make is to compare the effect of using the tool with normal query against the tool with query expansion (RF mechanism).

References

- [1] G. Gay, S. Haiduc, A. Marcus, and T. Menzies, "On the use of relevance feedback in IR-based concept location," *IEEE Int. Conf. Softw. Maintenance, ICSM*, pp. 351–360, 2009.
- [2] Marcus, A. Sergeyev, V. Rajlich, and J. I. Maletic, "An information retrieval approach to concept location in source code," *Reverse Eng. 2004. Proceedings. 11th Work. Conf.*, pp. 214–223, 2004.

- [3] Marcus, V. Rajlich, J. Buchta, M. Petrenko, and A. Sergeyev, "Static techniques for concept location in object-oriented code," *13th Int. Work. Progr. Compr.*, 2005.
- [4] D. Poshyvanyk and A. Marcus, "Combining Formal Concept Analysis with Information Retrieval for Concept Location in Source Code," *15th IEEE Int. Conf. Progr. Compr. (ICPC '07)*, 2007.
- [5] G. Scanniello and A. Marcus, "Clustering support for static concept location in source code," *IEEE Int. Conf. Progr. Compr.*, pp. 1–10, 2011.
- [6] D. Poshyvanyk, M. Gethers, and A. Marcus, "Concept location using formal concept analysis and information retrieval," *Trans. Softw. Eng. Methodol. (TOSEM)*, vol. 21, no. 4, 2012.
- [7] S. Haiduc, G. Bavota, R. Oliveto, A. De Lucia, and A. Marcus, "Automatic Query Performance Assessment During the Retrieval of Software Artifacts," in *Proceedings of the 27th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering*, 2012, pp. 90–99.
- [8] S. Haiduc, G. De Rosa, G. Bavota, R. Oliveto, A. De Lucia, and A. Marcus, "Query Quality Prediction and Reformulation for Source Code Search: The Refoqus Tool," in *Proceedings of the 2013 International Conference on Software Engineering*, 2013, pp. 1307–1310.
- [9] S. Haiduc, G. Bavota, A. Marcus, R. Oliveto, A. De Lucia, and T. Menzies, "Automatic Query Reformulations for Text Retrieval in Software Engineering," in *Proceedings of the 2013 International Conference on Software Engineering*, 2013, pp. 842–851.
- [10] Marcus and S. Haiduc, "Text Retrieval Approaches for Concept Location in Source Code," in *Software Engineering SE - 5*, vol. 7171, A. De Lucia and F. Ferrucci, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 126–158.
- [11] G. Scanniello, A. Marcus, and D. Pascale, "Link analysis algorithms for static concept location: an empirical assessment," in *Empirical Software Engineering*, vol. 20, no. 6. 2014, pp. 1666–1720.
- [12] D. Manning, P. Raghavan, and H. Schütze, *An Introduction to Information Retrieval*. Cambridge University Press, 2009.
- [13] J. J. Rocchio, "Relevance Feedback in Information Retrieval," 1971.
- [14] Wohlin, P. Runeson, M. Höst, M. C. Ohlsson, B. Regnell, and A. Wesslén, *Experimentation in Software Engineering*. Springer, 2012.

- [15] B. Dit, M. Revelle, M. Gethers, and D. Poshyvanyk. "Feature location in source code: a taxonomy and survey." *J. Softw. Maint. Evol.: Res. Pract.*, 2011.
- [16] Q. Wang, C. Parnin, and A. Orso, "Evaluating the Usefulness of IR-based Fault Localization Techniques," in *Proceedings of the 2015 International Symposium on Software Testing and Analysis*, 2015, pp. 1–11.
- [17] Clayberg and D. Rubel, *Eclipse Plug-ins*. 2008
- [18] "Query Parser Syntax," Apache Lucene, Available: https://lucene.apache.org/core/3_0_3/queryparsersyntax.html.
- [19] M. McCandless, E. Hatcher, Gospodnetić Otis, and D. Cutting, *Lucene in action*. Greenwich: Manning, 2010.
- [20] "Package 'nortest'," R project. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/nortest/nortest.pdf>
- [21] M. Hollander and D. A. Wolfe, *Nonparametric statistical methods*, vol. 2. New York: John Wiley & Sons, pp 68-75, 1999.

(SUBMISSION 41)

Financial analysis of solution architectures: A user study

YEIMI PEÑA

DARÍO CORREAL

*Universidad de Los Andes, Software Engineering Department
Bogotá, Colombia*

EDUARDO MIRANDA

*Carnegie Mellon University, Software Engineering Master's Program
Pittsburgh, PA, U.S.A*

Abstract

Solution architectures are essential to companies because they respond to business concerns, operational requirements and enterprise architecture initiatives. Due to their importance, these solution architectures are financially analyzed to determine their profitability and justify their investment. This research aims to examine the practices used by professionals to analyze solution architectures financially. To do that, we conducted a series of surveys to identify and capture the feedback from the selected professionals that use financial analyses in their solution architectures. The study results highlight important issues that need to be taken into consideration to support financial analyses, improve industry practices, and reduce risks in technology investments.

Keywords: financial analysis, solution architecture, technology investments, financial methods, survey.

Introduction

Technology solutions are critical for the evolution and innovation of organizations. For example, Colombian private companies, which invested in technology

solutions around USD\$ 297.198 in 2015 [1], face challenges due to their need to analyze large amounts of data, the promotion of technological innovations, the economic growth, and the incursion of new entrepreneurs, as determined by Fedesarrollo [2] and DANE [3]. Commonly, technology solutions are designed considering solution architectures [4] that respond to specific requirements related to innovation, business, operation, or enterprise architecture. Solution architectures can include software applications, information or infrastructure solutions. To justify the amount of money required by solution architectures as well as the expected benefits by a company after its implementation, these architectures are financially analyzed by companies. As a result, some financial indicators [5] are calculated to support the technology investment and the comparison of multiple solution alternatives. Also, due to rapid changing of companies in conjunction with dynamic organizational factors, some unpredictable events (e.g., change of technologies) can impact the implementation of a solution architecture [6]. These events derive uncertainties that may impact the decisions, which can produce positive or adverse consequences for a company [6]. Considering these events and their uncertainties, a company should manage the uncertainty in the financial analyses to avoid unfortunate situations that could, in turn, have unfavorable results such as economic losses, useless technology, and unnecessary investments.

However, despite the importance of solution architectures, there is relatively little practical evaluation about the financial practices to analyze them. We identified in the literature similar studies such as an analysis of information systems investments [7], a study that compares the practices in IT/IS outsourcing phenomenon in the public and private sectors in UK [8], and a study related to the analysis of information technology outsourcing decisions in Australia [9]. These evaluations are relevant to determine the needs as well the challenges in future investigations and close the gap between industry and academy. This paper aims to identify the financial methods, as well as the technological and economic factors that are used to analyze solution architectures. To perform the study, we conducted a survey with a group of Colombian professionals from different industries. The results provide us a valuable understanding of the methods and factors that were used and also allow us to identify the gaps that exist nowadays in the financial analysis of solution architectures. This paper is structured as follows. Section 2 presents the main concepts used in this research. Section 3 presents the research methodology. Subsequently, the analysis of the data obtained from the survey is presented in Section 4. Finally, conclusions and future work are presented in Section 5.

Background

A solution architecture seeks to plan, build, and manage a solution considering a company's requirements [4]. To achieve the solution architecture's objective, an interdisciplinary team⁴ performs a process that consists of a set of activities supported by the definitions of government institutions and practitioners. The process starts with the identification of the requirements that address the solution architecture by an interdisciplinary team. Then, the team identifies the solution architecture alternatives and the components that comprise each alternative to respond to the requirements. Next, each alternative is analyzed financially considering the costs, benefits and economic factors (e.g. taxes, inflation). In this research, a cost represents the purchase price of a service or asset [5], [10], and a benefit is a result of an action that enhances or promotes the welfare of the company [5], [10]. To classify the costs and benefits, the team can use taxonomies, which are composed of a set of categories that are chosen based on the particular needs of a company [5]. A taxonomy can consider categories such as direct, indirect and social costs as well as tangible and intangible benefits [5]. Direct costs are directly related to technology components. Indirect costs refer to the effects of the solution on the organization and its human resources [5]. Social costs are associated with the impact that adopting a solution has on people within an organization [5]. Tangible benefit is one that directly affects the organizations, and an intangible benefit has an indirect impact on the organization's productivity and performance [5].

Once the costs, benefits and economic factors have been identified, the interdisciplinary team performs the financial analysis supported on methods such as net present value (NPV), payback period (PP), the return on investment (ROI) and internal rate of return (IRR) [10]. As a result of the financial analyses, the interdisciplinary team has a set of financial indicators that support the selection of an alternative to implement in the company. Due to unpredictable events such as changes in regulations or new technological trends, the investment decisions can change. For the previous reason, it is necessary to take the uncertainty in financial analyses into account. Uncertainty is a lack of awareness regarding an event, which may be originated from multiple situations and may generate positive or negative events in a project [6]. According to Neufville and Scholtes [6] to manage the uncertainty is required to consider the flexibility, which is understood as the ability to wait, see and adjust a decision based on new information from both internal and external company events, and there-

4. In this research, an interdisciplinary team is understood like a group of people (solution architects, technology architects, information architects, enterprise architects, and financiers) who financially analyze solution architectures.

fore redirect the company towards a path that avoids negative consequences or exploits positive opportunities.

Research methodology

This study aims to identify the practices used to analyze solution architectures financially. Based on our objective, we identified a homogeneous target population of 60 professionals with experience in the industry and knowledge of financial analysis and solution architectures. We selected our target population supported on the recognized Master on Architectures of Information Technology from Universidad de Los Andes, Colombia between March 2015 and March 2016.

The study was carried with the formal methodology proposed by Pamela Alreck [11], which proposes the following stages. In the first stage, *Defining the instrument*, we created the questionnaire taking into account similar surveys that were previously conducted in the reviewed literature [7]–[9]. The questionnaire consisted of a set of twenty-five (25) closed questions, divided into three sections: profile of the respondent, profile of the company where the respondent works, and the last relates to the methods and factors used in the financial analysis of solution architectures. During the second stage, *Designing the pilot test of the instrument*, we validated the questionnaire through a pilot test to determine the clarity, difficulty, and ambiguity of the questions. The pilot was executed with 15 % (9 participants) of the total target population. As a result, we made slight changes to the final questionnaire, such as clarifying the instructions and adjusting some questions. For the third stage, *Collecting Data*, we explained the purpose of this study to the target population (51 participants), then, we delivered the questionnaires, and finally we collected the filled-out questionnaires. To collect the questionnaires, we printed the forms and personally delivered them to respondents. In the fourth stage, *Processing Data*, we tabulated the information in spreadsheets for subsequent statistical analysis that considers the answers for each question, the percentage associated with the total of answers and the use of histograms to analyze the information.

Data analysis

Profile of survey respondents and the companies where they work

All 51 respondents have different profiles in their organizations, 25% are Solution Architects, 16 % are Developers, and 10 % are Analysts. The remaining percentage of interviewees has other profiles such as project managers, consultants, and software designers. Moreover, we asked all respondents regarding

their experience in solution architecture projects. Results indicate that 80.4% have participated in at least one project and 19.6% known about but have not participated in solution architecture projects. Considering the high percentage related to the experience of the respondents, we can justify the relevance of the research's results to analyze the current practices.

Participants were asked to indicate the industry where they work for. The results show that 25.5 % of respondents work in the technology industry, 13.7 % in companies offering services and 11.8 % in the financial sector; the remaining 49 % is divided among other industries such as gas, insurance, health services, transport. Among these companies, 61 % are large companies, 19% are medium enterprises, 12 % are small companies, and 6% are micro enterprises⁵.

To identify if companies had defined processes and/or procedures for the financial analysis of solution architecture projects, we asked the respondents about this topic. This information was fundamental to have an idea about the standardization of financial analysis of those companies. Results show that 41 % of those surveyed said that their companies had defined processes and/or procedures for the analysis above, 33 % were not aware of their existence, and 25 % declared the absence of these processes and/or procedures in their companies. However, defining the processes and/or procedures does not show if they are being used, which is why we asked respondents if such procedures were used. Considering only the 41% of the companies that have defined processes and/or procedures, the respondents said that 85% of those companies used the processes and/or procedures, 4.8% answered that they were not used and 9.5% said that they did not know if they were used. As a result, we can identify that 58% of the respondents' companies not recognize or do not have processes and/or procedures; this can result in low standardization of the financial analysis, wrong interpretation of the financial analysis, omission of important variables required for the financial analysis, among other problems that can impact the financial indicators, therefore, the decisions about technology investments.

Before explaining the use of the methods, we consider it relevant to identify the company areas that are involved in the financial analysis of solution architecture projects. The Board of Directors, Business Units, and the Technology and Financial areas comprise a higher percentage within companies (over 57%). This result shows the importance of interdisciplinary teams to perform the financial analysis. Moreover, 24 % of respondents suggested including the Audit Offices and Project Management Offices in the financial analysis, and 12% consider it unnecessary to involve External Consultants. Consequently, we were able

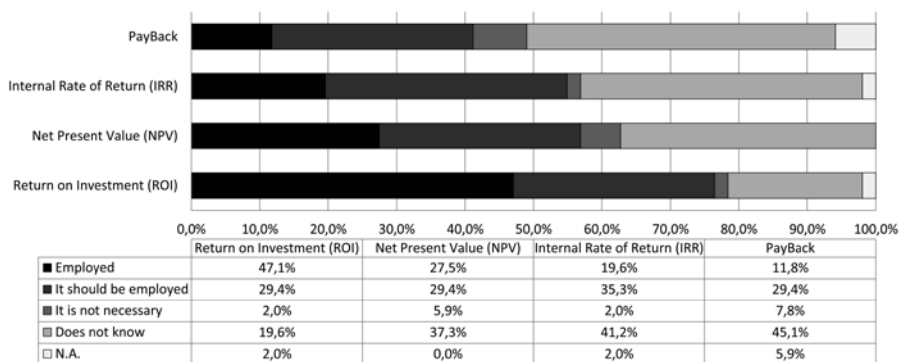
5. The definition of company size in Colombia is determined by <http://www.mincit.gov.co/mipymes/publicaciones.php?id=2761>

to determine that there is a high percentage of unawareness with regards to the need of involving the Audit area (39%) and External Consultants (45%). Finally, we were able to identify the Technology area as the only one considered as a requirement by all respondents.

Financial Methods used in solution architectures

Fig. 1

Financial analyses used in solution architectures



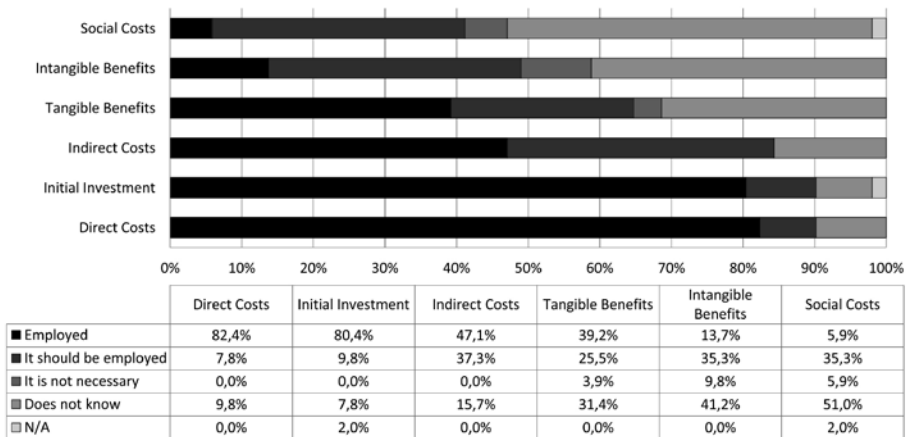
Regarding the financial analysis methods used by the respondents to analyze solution architectures, the most used are the ROI (47.1%) and the NPV (27.5 %), as illustrated in Fig. 1. The methods with the highest percentage of lack of awareness on the part of the respondents are PayBack (45.1%) and IRR (41.2 %). The results show a trend in the use of ROI; however, ROI ignores the time of money that could be risky considering the changes of the money over time and the possible unpredictable events that can impact a solution [10]. Moreover, although NPV is one of the most common methods of financial analyses [6], in the survey' results its percentage is low (27.5 %). The benefit of NPV is the inclusion of factors such as discount rates and inflation, which enable the analysis of money through time and consider the risk of investment. Finally, considering the percentages of the label "Does not know", we could consider that the least employed methods are the most unknown methods by the participants. Therefore, although the methods offer significant benefits to the financial analysis, they could not be used for the lack of awareness by the interdisciplinary teams.

Up to this point, we have identified financial methods, but there is still no clarity regarding their costs and benefits. As is shown in Fig. 2 direct costs are significantly more used (82 %), as well as the amount of initial investment (80 %); however, indirect costs (47 %) and tangible benefits (39 %) are less used by respondents. According to the criterion of the respondents, intangible

benefits (35 %) should be considered, along with social (35 %) costs. There is, however, high disregard for social costs (51 %), and intangible benefits (41 %). This situation can have a negative impact on the financial analysis of solution architectures because they could be omitted [6].

Fig. 2

Costs and benefits considered in financial analysis of solution architectures



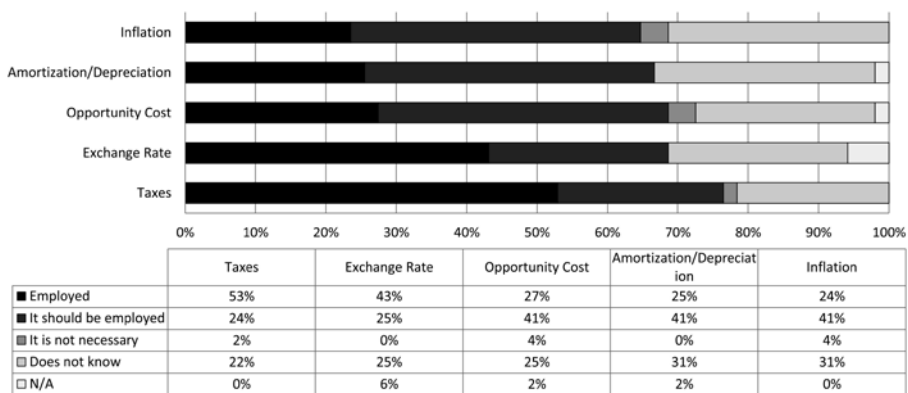
Economic factors can impact the financial analyses because they represent changes in the valuation of assets or money over time. To identify whether these factors are considered in financial analyses of solution architectures, we asked respondents about their use. Results are illustrated in Fig. 3, which indicates that the economic factors that are considered more often are taxes (53%) and exchange rates (43%). On the other hand, the least used factor is inflation (24%), without this meaning that it is not important; on the contrary, 41% of respondents believe that it should be taken into account as well as opportunity cost (27%) and the amortization/depreciation (25%) of assets. However, the low use of the inflation can create risks in planned budgets during the execution of projects, especially those planned for the long term.

According to Irani [5] to identify the costs and benefits in detail for financial analysis, it is necessary to consider some technological factors. Among the most used factors that we identified in the answers of the responders are Development (86 %), Software (84 %), and Hardware (80 %). Among the factors that should be considered are the learning curve (59 %) and process re-engineering (53 %). Costs related to staff and travel expenses are considered unnecessary, and there are high percentages of lack of awareness regarding organizational restructuring (29 %), implementation (25 %) and resource management (20 %). We identified that there is a long list of factors associated with financial analyses, in which

the majority is related to components that can usually be measured such as Hardware, Software, and Infrastructure. However, other factors such as the Learning Curve or Process Re-engineering are considered in a lower proportion, thus hiding possible costs or benefits that are relevant in financial analysis.

Fig. 3

Economic Factors used in financial analyses of solution architecture



Considering that taxonomies are fundamental for identifying and classifying costs and benefits [5], the respondents were surveyed regarding their use in their organizations. As a result, we found that 20% of the companies where they work had defined cost structures, 25% had not defined them, and 55% were not aware of such structures. Also, we identified that 10% of these companies had defined benefit structures, 29% said that they had not been defined and 61% were unaware of such structures. Due to the results, some costs and benefits that are essential for a financial analysis may have been omitted. Also, very general costs or benefits might be present, which can be difficult to estimate them and, ultimately, to justify an investment to a company's board of directors.

To understand the degree of analysis of solution architecture with regards to uncertainty and flexibility variables, we identified that 14% of those surveyed said they included uncertainty in the financial analysis, while 24 % said they did not consider it. However, 55 % was unaware of the use of uncertainty, which indicates that the variable might have been omitted in several occasions. Regarding techniques that companies use to consider uncertainty, Brainstorming is the most used technique (37 %), while the least used one is Monte Carlo simulations (2 %). On the other hand, respondents described the need to use other techniques such as decision trees, a sensibility analysis or the extended present net value, all of which are unknown to those surveyed considering the percentages. Regarding flexibility, the results show that only 18% of the companies include this variable, 27 % do not include it, 8% decided not to answer,

and 47 % were unaware of its use. These results highlight the possible disregard for the importance of flexibility during a financial analysis in the companies of our respondents.

In this study, respondents were asked about the issues they had identified during the use of the financial methods. Between the issues we identified difficulties in determining and quantifying benefits (49 %), which can be related to the complexity of finding the benefits and identifying the factors for their calculation. Moreover, there is not enough time to perform financial analyses (41 %), which can result in financial indicators that present limited information. Other problems that we consider relevant are the lack of data (39 %) to perform the financial analysis, as well as the identification and quantification of opportunity costs (39 %). We also identified issues associated with the cost identification and quantification (35%). Two other related problems are the lack of interest regarding the use of financial methods (31%) and the lack of knowledge of financial methods (29%). These problems can be related to the high percentages of unawareness regarding the use of methods and factors presented earlier in this research.

Conclusions

The obtained results evidence the issues that companies face to analyze solution architectures financially. Considering these results, there are important challenges to improve the approaches of financial analyses addressed to solution architectures. Among these challenges, we identified: 1) it is necessary to standardize the concepts and definitions of the variables and factors required in financial analysis; 2) it is necessary to close the gap between the taxonomies proposed by literature and their use in the industry to identify costs and benefits and reduce their omission; 3) Considering the uncertainty of the unpredictable events, it is required to determine and evaluate which is the most convenient financial model addressed to solution architectures to obtain financial indicators more accurate reducing risks in technology investments. These results are also important to analyze financial models (e.g. CBAM) that are used in other areas such as software architectures and enterprise architectures, which can be adapted to solution architectures.

References

- [1] OCyT: Indicadores de Ciencia y Tecnología 2015., Bogotá, Colombia (2015).

- [2] Gómez, H.J., Mitchell, D.: „Innovación Y Emprendimiento En Colombia: Balance, Perspectivas Y Recomendaciones“. Available: http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/Cuadernos-de-Fedesarrollo_No-50-web-Innovaci%C3%B3n.pdf.
- [3] Perfetti del Corral, M., Prada Lombo, C.F., Martínez Rojas, J.F.: Indicadores Básicos de Tenencia y Uso de Tecnologías de la Información y Comunicación en empresas -2015, <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/tecnologias-de-la-informacion-y-las-comunicaciones-tic/indicadores-basicos-de-tic-en-empresas>.
- [4] Arango Serna, M.D., Londoño Salazar, J.E., Branch Bedoya, J.W.: “Solution architecture approach, mechanism to reduce the gap between enterprise architecture and implementation of technological solutions”. *Dyna*. 82, 117–126 (2015).
- [5] Irani, Z., Ghoneim, A., Love, P.E.D.: “Evaluating cost taxonomies for information systems management”. *Eur. J. Oper. Res.* 173, 1103–1122 (2006).
- [6] Neufville, R. De, Scholtes, S.: Flexibility in Engineering Design. Massachusetts Institute of Technology, London, England (2011).
- [7] Ballantine, J. a., Stray, S.: “Information systems and other capital investments: evaluation practices compared”. *Logist. Inf. Manag.* 12, 78–93 (1999).
- [8] Khalfan, A., Gough, T.G.: “Comparative analysis between the public and private sectors on the IS/IT outsourcing practices in a developing country: a field study”. *Logist. Inf. Manag.* 15, 212–222 (2002).
- [9] Fink, D., Shoeib, A.: “Action: the most critical phase in outsourcing information technology”. *Logist. Inf. Manag.* 16, 302–311 (2003).
- [10] Brealey, R.A., Myers, S.C., Allen, F.: “Principles of Corporate Finance”. McGraw-Hill Companies, New York, USA (2011).
- [11] Alreck, P.L., Settle, R.B.: “The Survey Research Handbook”. Mc Graw-Hill Education, U.S. (2004).

(SUBMISSION 93)

Transparency as a learning strategy to teach Software Engineering

ELIZABETH SUESCÚN MONSALVE

PAOLA VALLEJO

*Universidad EAFIT- Grupo GIDITIC**Medellín, Colombia*

RAÚL MAZO

*Université Panthéon Sorbonne**Centre de Recherche en Informatique (CRI), Paris, France*

DANIEL CORREA

*Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Minas**Medellín, Colombia*

Abstract. Background

Transparency is anchored in the principle of disclosure information. In pedagogy, transparency emerges as an important issue that proposes to aware students about the educational processes and contents. Here, we investigate the viability of using the transparency concept through the SimulES game as a pedagogical support to teach an introductory course in Software Engineering (SE). Objective: This paper presents SimulES games for conducting an experience with students in introductory course in SE using transparency approach, and it is illustrated and evaluated by quasi-experiment in class. Method: To support this proposal two experiences were designed, one played with a preliminary teacher's guidance about the rules of the game. The other one used a traditional expository lecture, both experiences followed by a feedback. Briefly, we aim at evaluating to what extent the use of pedagogical transparency in the context of game-based learning helps students to better understand the basic concepts

of SE. To assess the impact of pedagogical transparency in the context of game-based SE learning. Results: We examine the experiences and outcomes from seven groups, of which two are published. From these, we note there were not significant differences. Both groups acquired a similar quantity of knowledge about SE concepts. Conclusions: We identify our challenges as improving the experiment design with a large quantity of subjects, and selecting a different SE topic to involve higher level students in the experiment; performing better experiments, improving data analysis, and minimizing validation threats.

Keywords: Software Engineering, Games Based Learning, Transparency.

Introduction

According to Somerville, “Software engineering is an engineering discipline that is concerned with all aspects of software production from the early stages of system specification to maintaining the system after it has gone into use” [1]. Thus, SE is not just concerned with the technical processes of software development but also with activities such as software project management and with the development of tools, methods and theories to support software production. In this context, we recognize the importance that each of these aspects has for students. And it is quite challenging to be able to teach all these aspects in traditional classes. That is why we are looking for alternatives that stimulate the work within all these aspects during the lecture time just like if the students were working in real environments.

There are studies intending to improve the teaching methods, like the ones based on the concept of pedagogical transparency in the context of game-based learning (GBL) [2, 3]. According to Monsalve [3], transparency is a pedagogical strategy that aims to improve the quality of teaching, and the relationship between students, teachers and teaching methods. This teaching approach uses a vision anchored in the principle of transparency as information disclosure [4]. “Transparency in pedagogy emerges as an important issue which aims at making the learner aware about his teaching-learning process and content production” [2]. In addition, concepts which are explained in a practical way are better suited to promote the learning of increasingly complex new concepts, which are considered important for the development of thought [5].

The remainder of this paper is structured as follows: Section 2 presents the requirements for teaching SE in a more engaging manner. Section 3 describes the experiment performed and the evaluation of our approach. Section 4 presents important aspects from this experience. And finally, Section 5 rounds out the paper with some conclusions and an outlook on future work.

Using SimuLES to teach Software Engineering transparently

The advantage of using games in learning processes are manifold; for instance, GBL is designed to balance subject matter with gameplay and the ability of the player to retain, and apply the acquired knowledge to the real world [6]. In addition, Ebner and Holzingerb [7] suggest that there is empirical evidence showing that the learning results of using games is at least equivalent to the results from learning using traditional methods. Besides, GBL also allows learners have access to the concepts in dynamic and operational way. The effectiveness of GBL is not only evident in its informativeness but also for application concepts in a practical way. Monsalve and Leite [8] present a study which shows how GBL is one of the most preferred modes of learning from the student's perspective. Other important evidence is related to long-term learning, the experiment's result presented in [9] using GBL revealed that using the situation-problem strategy allows the learners to deduce and apply concepts learned in real situations.

Therefore, in this paper we want to study to what extent the use of GBL together with the concept of transparent teaching can offer to the students a motivating environment that allows them to learn the fundamentals of SE. First, GBL is comparable to the traditional form of teaching concerning immediate knowledge gains. GBL has a significant medium positive effect size regarding retention. Then, it does not disturb the process, on the contrary, the student can gain in motivation and reasoning about SE. Second, GBL is not detrimental to information transmitted in the expository lecture but not strengthened by the game. Then, GBL combined with transparency would give us the opportunity to present study tools that are revealing for students, with open processes, feedback and with active participation of students. We justify our proposal in the fact that the concept of transparency is already being used in other social, governmental and software contexts [10]. The society has a growing interest for transparency as information disclosed [4]. It is a right that allows citizens to have free access to information, enabling them to be aware of acts, actions and conditions that an organization offers for services or products, so that they are sustained and justified by organizations for the citizen. This fundamental definition is recently being used in the context of pedagogy adopting much of its principles.

We claim that transparency brings on the evolution of teaching which is undergoing transformations, with students who seek to be more participatory, compare and exercise their rights. SE is our context of interest therefore we believe that the use of games as tools combined with pedagogical foundation

and focused on the concepts of transparency can bring benefits in the process and in the final result.

Our motivation is to use the concept of transparency in a learning process. For that reason in this paper we show how, through the SimulES game, we incorporate that concept to teach SE. In particular, we use SimulES as relatively simple game that does not require special skills to be played, just a few minutes for training and rules description and that challenge players with clearly defined goals reachable within session class to play. SimulES is an educational board and cards game [11] which is an evolution of the ideas of the PnP game [9]. Different from PnP, SimulES does not have any specific development process and the development process can be explored pedagogically during the game; for instance, one player can use an agile approach whereas other one can follow a waterfall process. Exploring different development processes can be organized by the instructor, such as an after-game discussion about development approaches. The main components of the SimulES game are: project cards, engineer cards, problem cards and concept cards as presented in Fig. 1. Further information about SimulES can be found in [12].

Fig. 1

Project card, Software Engineer card, Problem card and Concept card

Project P01	Software Engineer SE01	Problem Card PC01	Concept Card CC01
Expert Committee [Garcia et al. 04]	 Senior professional but with low abilities in software development	Code replication [Fowler 99]	Code documentation [Davis 95]
It is a system to support the management of articles reviews submitted to a conference.	Manuel	Your opponent has to discard one of his code artefacts.	Code documentation facilitates its improvement and its maintenance throughout the project.
Quality =2 Budget = 180K	Salary = 40K	Code artefacts >= 2	Software Engineers >= 2
Modules: 2RQ + 1DS + 1CD			

The quasi-experiment design

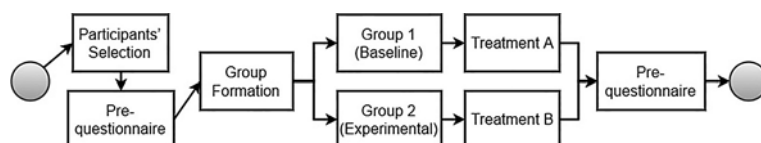
During last years, industrial and research communities have used empirical studies with students (ESWS) to gain insight into new or existing techniques and methods [13]. ESWSs are useful to obtain preliminary evidence in support of or against research hypothesis. ESWSs should be conducted in an adequate way, addressing appropriate goals, do not overstate the generalizability of the results and considering threats to internal and external validity. There are different types of ESWS like: controlled experiments, quasi-experiments, correlation studies, case studies, or surveys. We select a quasi-experiment study because randomization was not possible with the students of the undergraduate courses. In particular, we carried-out a quasi-experiment in order to (i) obtain preliminary evidence about how SimulES works, and (ii) evaluate the following hypothesis (being: H0 the null hypothesis, H1 the alternative hypothesis).

H0 (null): Providing novice SE learners with SimuleS, and through a transparent teaching strategy, increases their knowledge of SE concepts in a similar way that traditional learning.

H1: Providing novice SE learners with SimuleS, and through a transparent teaching strategy, increases their knowledge of SE concepts in greater proportion than with a traditional learning.

At this point it is important to highlight that the intention was not only to obtain preliminary evidence about the “transparency concept” but to compare the acquisition of knowledge through a traditional learning versus a transparent game-based learning (specifically using the SimuleS game). The quasi-experiment was divided into five different phases which are represented in Fig. 2 and described thereafter.

Fig. 2
Quasi-experiment phases



Participants' selection: We decided to select 40 undergraduate students from the Computer Science program at the EAFIT University. They were part of the first semester of this career, and they attended to a mandatory course named Principles in Software Development. This course introduces issues related to SE.

Pre-questionnaire: The second phase of the quasi-experiment was to hand out a pre-questionnaire to the previous students. The questionnaires were designed using a Likert scale [14]. For all the questionnaires in this quasi-experiment (both pre- and post-), the Likert items had a five-point format: (1) strongly disagree, (2) somewhat disagree, (3) neither agree nor disagree, (4) somewhat agree, and (5) strongly agree.

The pre-experiment questionnaire was used to confirm the students' lack of knowledge about SE concepts, and to carry out the group formation (which is described in the next phase). It was very simple, only two questions. We had out this pre-questionnaire to the students one week before the first day of class, they had to attend to some introductory sessions and they completed the pre-questionnaire in one of these sessions. The pre-questionnaire is detailed in Appendix A [15] and the answers are detailed in Appendix B [15].

Group formation: Based on the previous results we discarded some students, then, we divided the students in two groups; each group with 10 subjects. Groups were not randomly constituted; on the contrary, the assignment of the students to G1 or G2 was based on the results of the pre-questionnaire (see Section 4).

Group1 (G1) or baseline: Its subjects learnt some SE concepts through a 2 hours lecture session (traditional learning).

Group2 (G2) or experimental: Its subjects learnt some SE concepts through SimulES game (game-based learning).

Treatments: In the fourth phase, the students were submitted to a treatment, where each group was introduced to their own experiment environment.

Treatment A: this treatment was only applied to G1 (i.e., baseline). The experiment was conducted in a classroom with a 2 hours lecture session about SE concepts.

Treatment B: this treatment only applied for G2 (i.e., experimental). The experiment was conducted in a classroom with the SimulES game. We divided the 10 subjects into 3 groups (3-3-4 subjects per group, respectively), each group played with its own SimulES game. This session also took 2 hours.

Post-questionnaire: At the end of the quasi-experiment, the students of both groups were submitted to the post-questionnaire (Appendix C [15]); this phase only took 15 minutes. This test allowed verifying whether students acquired or not new knowledge and it also contained some questions related with the experiment environment (satisfaction and external factors). The main post-questionnaire questions contained six true/false statements. The answers from all the participants are detailed in Appendix D [15]. Results about the post-questionnaire are discussed in the next section.

Results and validation threats

As previously described, the subjects were submitted to a pre-questionnaire to carry out the group formation and to screen out possible background and basic skills deviations, and at the end of the quasi-experiment, a post-questionnaire collected further data.

To provide statistical relevance in the analysis of the questionnaires items, the results are interpreted as described next. Let the null hypothesis be denoted as H_0 , the alternative hypothesis as H_1 , the baseline group as G1, the exper-

rimental group as G2 and p the probability estimator of wrongly rejecting the null hypothesis. Then, the alternative hypotheses are either: (i) $H1:G2 \neq G1$, the experimental group differs from the baseline, (ii) $H1:G2 < G1$, the measure in the experimental group is lower than the baseline, or (iii) $H1:G2 > G1$, the measure in the experimental group is greater than the baseline. The outcomes of the two treatments were compared for every answer using the nonparametric, two-sample, rank-sum Wilcoxon-Mann-Whitney [16] test, with $n1=10$ and $n2=10$, being $n1$ and $n2$ the number of subjects of G1 and G2. The significance level for all tests was set to 5%, so probability values of $p \leq 0.05$ are considered significant, and $p \leq 0.01$ considered highly significant. The corresponding alternative hypothesis are further detailed for each question, and a summary of the base statistics and corresponding test values can be found in appendices B and D [15].

Group formation and background: This section rejects subjective difference amongst the students with respect to their basic skills. Pre-questionnaire responses do not show significant difference (Q1 $p = 0,651$; Q2 $p = 1,000$) between both groups. Q1 responses show that students did not have acquaintance about SE Q2 responses show that students did not have participated in SE courses. This was a mandatory condition to the effective prosecution of the quasi-experiment goals.

Table 1

Summary of pre-questionnaire results between the Baseline Group (G1) and Experimental Group (G2), including the values of the non-parametric significance Wilcoxon-Mann-Whitney test

	$\bar{x}$ (G2)	σ (G2)	$\bar{x}$ (G1)	σ (G1)	H1	p-value
Question 1	1,70	0,48	1,80	0,42	$\neq$	0,651
Question 2	1,00	0,00	1,00	0,00	$\neq$	1,000

External Factors: The quasi-experiment environment was an important concern. In a common working place, there are aspects out of control (inter-participants interaction, disturbances, noise, etc.), so the main idea was to discard possible validation threatening environmental factors. External factor questions responses do not show significant difference (Q1 $p = 0,485$; Q2 $p = 0,490$) between both groups. Q1 responses show that students did not find the experience intimidating. Q2 responses show that students did not feel distracted by other students. Both questions serve to discard validation treats related with external factors.

Table 2

Results of the external factors between the baseline group (G1) and experimental group (G2), including the values of the non-parametric significance Wilcoxon-Mann-Whitney test

	$\bar{x}$ (G2)	σ (G2)	$\bar{x}$ (G1)	σ (G1)	H1	p-value
Question 1	2,00	1,15	1,70	1,06	$\neq$	0,485
Question 2	1,70	0,48	2,20	1,32	$\neq$	0,490

Overall satisfaction: This collection of questions was intended to obtain subjective information about the satisfaction that the students had with the different learning methodologies, by questioning subjects on their performance, comfort and feel for the presented learning environment and material. Overall satisfaction questions responses do not show significant difference (Q1: $p = 0,679$; Q2: $p = 0,427$; Q3: $p = 0,348$) between both groups. Q1 responses show that students find adequate the time to develop the experiment. Q2 responses show that students find the experience fun. Q3 responses show that students find the experience conducive to learning. Both groups had similar results. This could make sense, because this was the first college experience of both groups of students which could be taken as a fun first experience.

Table 3

Overall satisfaction results between the baseline group (G1) and experimental group (G2), including the values of the non-parametric significance Wilcoxon-Mann-Whitney test

	$\bar{x}$ (G2)	σ (G2)	$\bar{x}$ (G1)	σ (G1)	H1	p-value
Question 1	4,30	0,48	3,90	1,20	$\neq$	0,679
Question 2	4,20	0,79	4,50	0,53	$\neq$	0,427
Question 3	4,30	0,48	4,50	0,71	$\neq$	0,348

Software engineering questions: To measure the increase in SE knowledge, a set of 6 questions (appendix C [15]) were presented to the students at the end of the experiment. These questions intended to ascertain how much correct information about SE the students had acquired. The relevance of an item-to-item analysis of the scores is not so much important as the total amount of knowledge the students acquired. Thus, the results are shown aggregated and processed as the total knowledge acquired.

Table 4

Questions and answers about software engineering

Question	1	2	3	4	5	6
Correct answer	T	F	F	T	F	T

Table 5
Software engineering questions group statistics

Question	N	Mean	Standard Deviation	Standard Error Mean
G1 - Baseline	6	4,100	0,738	0,3300
G2 - Experimental	6	3,500	0,707	0,3162

Table 5 shows subjects from baseline group G1 had an average of 4.1 correct answers of 6 questions; G2 had an average of 3.5/10. The results of the “software engineering questions” responses are very similar, so we cannot obtain any preliminary evidence to falsify the null hypothesis and therefore, confirm the alternative hypothesis of this quasi-experiment.

Conclusion and future work

This article shows that the use of SimulES through a transparent learning experience can be used as an option to teach the basic concepts of SE in undergraduate courses. SimulES was designed based on the transparency concept, a pedagogical strategy that aims to improve the quality of teaching, and the relationship between students, teachers and teaching methods. SimulES was compared with a traditional learning methodology (a lecture session) and a quasi-experiment was designed and executed. The main idea was to obtain preliminary evidence about how SimulES works and compare how students acquire knowledge using this game-based learning experience and compared with a lecture session. The results show that there is no significant difference between a group of students who learnt with SimulES and a group of students who learnt with a traditional lecture session. Both groups acquired a similar quantity of knowledge about SE concepts. Therefore, the students were submitted to different questions related with their background and the experiment environment; and there were no significant differences between the results of both groups.

We are working on a new experiment in which the use of transparency as a teaching strategy will not depend of the use of SimulES and will not depend of a particular topic of SE. This modification of the experiment will permit us to better assess the impact of transparency in teaching SE. In addition, we intend to replicate that experiment in several universities and courses to better test the new hypotheses related, exclusively, to the use of transparency in teaching software engineering.

References

- [1] Sommerville, I.: Software Engineering. 8th edn. Pearson Education, p. 7. England (2007).
- [2] Monsalve, E., do Prado Leite, J. and Werneck, V. :Transparently teaching in the context of game-based learning: the case of simulES-W. In: ICSE, 2015 IEEE/ACM 37th IEEE International Conference, vol. 2, pp. 343-352. IEEE (2015).
- [3] Monsalve, E.: Uma Abordagem para Transparência Pedagógica usando Aprendizagem Baseada em Jogos (Doctoral dissertation, PUC-Rio) (2014).
- [4] Leite, J. and Cappelli, C.: Software Transparency, Business & Information Systems Engineering, vol. 2, nº 3, pp. 127-139 (2010).
- [5] Resende, A. and Valdés, H.: Galperin: implicações educacionais da teoria de formação das ações mentais por estágios, Educação & Sociedade, vol. 27, nº 97, pp. 1205-1232 (2006).
- [6] EdTechReview. What is GBL (Game-Based Learning)?. <http://edtechreview.in/dictionary/298-what-is-game-based-learning>, last accessed 2017/05/20.
- [7] Ebner, M. and Holzinger, A.: Successful implementation of user-centered game based learning in higher education: an example from civil engineering, Computers and Education, vol. 49, nº 3, pp. 873–890 (2007).
- [8] Monsalve, E. and Leite, J.: Using i* for Transparent Pedagogy. In: 7th Internacional i* Workshop, Valencia (2013).
- [9] Baker, A. and Navarro, E. and van der Hoek, A.: Problems and Programmers: an educational software engineering card game. In: Proceedings 25th Intern. Conference on Software Engineering, IEEE Computer Society Press, Portland (2003).
- [10] Brom, C. and Preuss, M. and Klement, D.: Are educational computer micro-games engaging and effective for knowledge acquisition at high-schools? A quasi-experimental study. Computers & Education 57.3 (2011).
- [11] Figueiredo, E. M. and Lobato, C. A. and Dias, K. L. and Leite, J. C. and Lucena, C. J. P.: Um Jogo para o Ensino de Engenharia de Software Centrado na Perspectiva de Evolução. In: Workshop sobre Educação em Computação (WEI – 2007), Rio de Janeiro (2007).
- [12] Monsalve, E. and Werneck, V. and Leite, J. C. S. P.: Teaching Software Engineering with SimulES-W. In: Proceedings of XXIV Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T), Hawaii (2011).

- [13] Carver, J. and Jaccheri, L. and Morasca, S. and Shull, F.: A checklist for integrating student empirical studies with research and teaching goals. *Empirical Software Engineering*, 15(1), 35-59 (2010).
- [14] Flores, N.: Patterns and Tools for Improving Framework Understanding: a Collaborative Approach (Doctoral dissertation, University of Porto) (2012).
- [15] Quasi-experiment Appendix A, B, C and D. Available at: https://docs.google.com/document/d/1SloqKt_e8E_IMKHdCn29rQL374DCeWfKN-QkR6ZthZEG/edit?usp=sharing, last accessed 2017/05/28.
- [16] Hollander, M. and Wolfe, D. A.: *Nonparametric Statistical Methods*: By Myles Hollander, Douglas A. Wolfe. J. Wiley (1999).

1 11
2 INFORMÁTICA
3 **EDUCATIVA**

4 00101010110
5 1001010111
6 00101010
7 101010
8 1110
9 01

(SUBMISSION 175)

Estudio de permanencia estudiantil desde la perspectiva de bienestar universitario en la Universidad Nacional de Colombia

JULIÁN ROBERTO CUADRADO MONTAÑA

ELIZABETH LEÓN GUZMÁN

*Universidad Nacional de Colombia**Bogotá, Colombia*

Resumen

La permanencia estudiantil es una de las problemáticas más preocupantes para las instituciones de educación superior. Una forma de contribuir a la permanencia de los jóvenes en la Universidad Nacional de Colombia son los programas de bienestar que apoyan el desarrollo físico, psico-afectivo, espiritual y social de los estudiantes. Es por ello que para las dependencias de Bienestar Universitario es valioso conocer la influencia que tiene la prestación de sus servicios en el desempeño académico de los estudiantes. Este documento presenta el desarrollo de una estrategia de inteligencia de negocios usando bodegas de datos para centralizar y organizar datos académicos y de servicios ofrecidos por Bienestar Universitario, con el objetivo de presentar información de deserción y permanencia de los estudiantes que hacen uso de los servicios, así como realizar seguimiento y optimizar la gestión de bienestar en la Universidad Nacional de Colombia.

Palabras clave: bodega de datos, bienestar universitario, deserción, OLAP, minería de datos.

Introducción

Una de las problemáticas que más ataca la educación superior es la deserción estudiantil debido a que refleja problemas sociales e institucionales por los que atraviesan los estudiantes. Como medida preventiva se han realizado estudios que permiten a las instituciones identificar características para contrarrestarla.

Investigaciones demuestran que de cien estudiantes que ingresan a algún programa de educación superior, cerca de la mitad no logra culminar el ciclo académico, identificando que los primeros semestres son los que presentan mayor nivel de deserción. Estos estudios se han realizado utilizando variables académicas y socioeconómicas presentes en los sistemas de información propios de cada institución [1].

Para las instituciones e investigadores en deserción académica, es claro que no todas las causas encontradas se deben atacar de la misma forma, pues hay variables que influyen de una y otra forma en los estudiantes. El análisis de datos académicos y socioeconómicos, aunque influyente, no reflejan en su totalidad la realidad de las causas identificadas en la deserción, es por esto que desde el Ministerio de Educación Nacional se reconoce al departamento de Bienestar Universitario como una dependencia fundamental para vigilar y promover la permanencia estudiantil [1].

El presente artículo presenta la integración de información para representar la permanencia estudiantil a partir de variables académicas, socioeconómicas y de servicios de bienestar ofrecidos a los estudiantes de Pregrado de la Universidad Nacional de Colombia. Para lograr esta representación se construyó una solución de inteligencia de negocios a partir de la creación de una bodega de datos, que integra repositorios de información provistos por el Sistema de Información Académico (en adelante SIA) y el Sistema de Información de Bienestar Universitario (en adelante SIBU). A partir de esta bodega se construyó una solución On-Line Analytical Processing (en adelante OLAP, por sus siglas en inglés) cuyo propósito es reconocer la información sobre los procesos que realizan las entidades, con el fin de tomar decisiones estratégicas que permitan tomar decisiones gerenciales [2], [3], [4].

Con el objetivo de determinar factores que caractericen la permanencia estudiantil en la Universidad Nacional de Colombia, se construyó un modelo de minería de datos a partir de algoritmos de clasificación como redes bayesianas y árboles de decisión. Como resultado, se evidencia la incidencia de los programas de Bienestar en el desempeño académico, y se logra predecir la deserción a partir de variables académicas, socioeconómicas y de bienestar.

El siguiente artículo está distribuido en ocho secciones. La Sección II presenta algunos trabajos previos de sistemas de inteligencia de negocios con datos educativos, la Sección III describe los repositorios de datos utilizados para el desarrollo de este proyecto, la Sección IV muestra el proceso de detección y preparación de variables, la Sección V evidencia el desarrollo de un sistema de reportes usando OLAP, que permita generar políticas de permanencia estudiantil, la Sección VI presenta el desarrollo de un modelo predictivo de deserción usando técnicas de minería de datos validadas a través de matrices de confusión, la Sección VII ilustra el modelo general desarrollado y finalmente la Sección 8 presenta las conclusiones del trabajo realizado.

Trabajos previos de sistemas de inteligencia de negocios con datos educativos

Son varios los acercamientos realizados en las instituciones educativas para analizar, comprender y caracterizar la deserción estudiantil, así como también reconocer los factores influyentes en ella. Aprovechando estrategias como las ofrecidas por la inteligencia de negocios y minería de datos se han construido modelos que permiten extraer conocimiento a partir de información académica en instituciones de educación superior.

Tecnologías de inteligencia de negocios, específicamente bodegas de datos y OLAP, se han adaptado a la identificación y gestión de instituciones de educación superior a partir de los datos almacenados en los diferentes repositorios. Su propósito es reconocer la información de mayor impacto sobre los procesos que realizan las entidades, con el fin de tomar decisiones que optimicen el rendimiento académico [2], [3], [4].

El concepto de *minería de datos* representa la exploración de la información contenida en repositorios de datos, sobre los cuales se ejecutan ciertos procesos que nos permiten identificar patrones y comportamientos comunes, asociando la información para generar reglas de negocio que permitan atacar problemáticas, generar conocimiento, descubrir propiedades y reconocer cursos de acción sobre los procesos de negocio de las entidades para aumentar su rendimiento [5].

En universidades como la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina [6] y la Universidad Autónoma de Manizales en Colombia [7], el desarrollo de bodegas de datos ha permitido estructurar perfiles de deserción, a partir de datos académicos, variables socioeconómicas y demográficas. Otros estudios realizados han demostrado que la integración de bodegas con soluciones OLAP y de minería de datos, permiten presentar información organizada y relevante

para reconocer la importancia del análisis de factores en la deserción estudiantil como es el caso de la Universidad Western de Kentucky [8].

En India, el Hindusthan College of Arts and Science realizó un análisis académico con el fin de mejorar el rendimiento de los estudiantes, según su progreso durante el semestre cursado. De la investigación realizada se evidencia un grado de precisión de clasificación de redes bayesianas de alrededor de 60 % [14]. En la Universidad de Ohio en Estados Unidos realizaron modelos de minería usando algoritmos como *regresión lineal*, *regresión logística* y árboles de decisión, con el objetivo de identificar los estudiantes en riesgo de perder la calidad de estudiantes, con el fin de generar acciones de retención [15].

La recolección de datos en las instituciones educativas es de gran importancia, ya que la implementación de estrategias de Inteligencia de Negocios depende de los datos históricos almacenados. Tal es el caso de un estudio realizado en la Universidad de Chile que, a través de redes neuronales, árboles de decisión y cluster K-medianas, pretendía realizar modelos para la determinación de deserción en estudiantes universitarios, sin embargo, dada la poca cantidad de datos recolectados los resultados no fueron aceptables [16].

En la Universidad Nacional de Colombia también se han realizado acercamientos al estudio de la deserción académica usando la técnica de árboles de decisión, presentando un nivel de precisión entre el 75 % y 90 %, usando datos de dos programas académicos para los primeros cuatro semestres cursados. Del trabajo realizado por el autor, se plantea como trabajo futuro la integración del modelo presentado con otros sistemas de información que permitan analizar el nivel de deserción a partir de la calidad de vida de los estudiantes [9].

Repositorios de datos para construcción del modelo

Las fuentes de información para caracterizar la permanencia estudiantil de los usuarios de Bienestar Universitario de la Universidad Nacional de Colombia utilizados, fueron el SIA y el SIBU.

Dado que el objetivo del proyecto es el estudio del comportamiento académico, junto con variables socioeconómicas y la relación con servicios de Bienestar Universitario, para las cohortes de admisión entre 2014-01 y 2016-03, se solicitó la siguiente información a la División de Registro y Matrícula de la Sede Bogotá y a la Dirección Nacional de Bienestar Universitario encargados de la administración de SIA y SIBU respectivamente:

- **Repositorio de información socioeconómica.** Esta información es capturada durante el proceso de admisión a través de variables socioeconómicas tales como regiones de nacimiento, procedencia y residencia, carácter privado u oficial del colegio donde culminó sus estudios secundarios, valor de la pensión, estrato socioeconómico, entre otras.
- **Repositorio de información académica.** Esta información es capturada para cada estudiante en cada periodo académico cursado, y contiene la información de las materias inscritas con la respectiva calificación (cualitativa/cuantitativa), la tipología y los créditos de cada una, el Promedio Académico Ponderado Acumulado (PAPA) y el estado del estudiante en la institución.
- **Repositorio de Bienestar Universitario.** La base de datos del SIBU gestiona toda la información de los procesos y servicios ofrecidos en acompañamiento integral, cultura, gestión y fomento socioeconómico y actividad física y deporte [11]. Incluye estudiantes, docentes, administrativos y personas con vinculación externa a la comunidad universitaria como los vinculados a través de Ordenes de Prestación de Servicios (en adelante ODS), hijos de funcionarios, pensionados y estudiantes del colegio IPARM.

Detección y preparación de variables

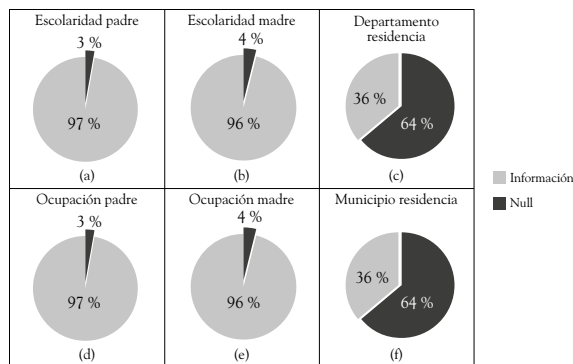
Algunas variables que se han identificado como determinantes en la permanencia estudiantil por el Ministerio de Educación Nacional están relacionadas con factores individuales, socioeconómicos, académicos e institucionales, como por ejemplo edad, género, estado civil, estrato social, situación laboral de los padres, dependencia económica, nivel educativo de los padres, rendimiento académico superior, entre otras.

A partir de los factores que determinan la deserción y de la información presente en los repositorios de datos, se realizó un análisis exploratorio con el fin de encontrar información con ruido, valores erróneos, faltantes o irrelevantes que pudieran afectar la presentación y detección de patrones.

Del análisis realizado se descubrió que variables como la situación laboral y escolaridad de los padres, así como los datos de procedencia de los estudiantes, presentan una gran cantidad de información nula, por lo que fueron descartadas. La Fig. 1 presenta la relación de información en las variables mencionadas.

Con el fin de determinar el rendimiento académico de los estudiantes, se creó la variable *tendencia_papa* a partir de los promedios obtenidos en los semestres inmediatamente anteriores para identificar si el promedio aumenta, disminuye o se mantiene. La variable PAPA se discretizó para facilitar su análisis. Creando rangos entre 0-2.9, 3.0-3.3, 3.4-4.0 y 4.1-5.0.

Fig. 1
Relación de información en variables socioeconómicas



Las variables de Bienestar Universitario no requirieron ningún tratamiento adicional y se seleccionaron áreas, programas, periodos de uso del servicio.

Adicionalmente para Bienestar las variables *subacceso* y *puntaje básico de matrícula* (en adelante PBM) determinan la condición socioeconómica de los estudiantes de forma directa. La primera permite reconocer el tipo de admisión a la universidad describiendo la población en estudiantes regulares, provenientes de sedes de presencia nacional, indígenas, mejores bachilleres entre otros. La segunda presenta el factor asignado de condición socioeconómica; entre más bajo sea el factor, mayor es la vulnerabilidad.

Detección de deserción a través de OLAP

Del reconocimiento de la información obtenida en cada uno de los repositorios de información y del proceso de preparación de variables, se seleccionaron aquellas que presentan información completa y concisa para el estudio, esta selección fue realizada en conjunto con la Dirección Nacional de Bienestar Universitario.

Con el fin de organizar el conjunto de datos obtenidos, se construyó una bodega de datos, siguiendo la metodología Kimball [10], la cual soporta el proceso posterior de minería de datos usando técnicas de clasificación para construir un modelo predictivo de deserción estudiantil.

A partir de la bodega de datos se construyó un modelo multidimensional OLAP para la presentación de la información que permitió reconocer el comportamiento académico estudiantil relacionado con el ofrecimiento de servicios de Bienestar Universitario en la Universidad Nacional de Colombia.

Como se mencionó anteriormente, la población estudiantil seleccionada son las cohortes admitidas a programas de pregrado de la sede Bogotá a partir del periodo 2014-01 hasta 2016-03, por lo tanto se tiene información de 15.694 estudiantes en 51 planes académicos.

Diseño OLAP

El diseño OLAP contempla la construcción de tres cubos multidimensionales que integran la información, presentándola así de forma adecuada para la toma de decisiones. Ellos son:

- **Cubo académico.** Proporciona la información académica de los estudiantes a partir de las dimensiones: *estudiante*, *periodo*, *estado académico* y *plan de estudios*, así como las medidas: *porcentaje de avance*, *cantidad de materias inscritas*, *cantidad de materias aprobadas*, *cantidad de materias no aprobadas*, entre otras.

La jerarquía de los niveles que poseen las dimensiones del cubo permite presentar la información de forma más amigable y entendible para el observador. En el caso de los estados del estudiante se presenta primero la causa y luego el estado de la misma para la institución educativa.

- **Cubo activación.** Permite observar la demanda del estudiantado por los servicios de Bienestar, reconociendo por ejemplo promedios de PBM, lo que permite hacer seguimiento a la gestión de la dependencia en la adjudicación de los apoyos.

Contiene las dimensiones: *estudiante*, *servicios*, *tiempo*, *tipo convocatoria* y las medidas: *cantidad de periodos de uso de servicio*.

- **Cubo activación-académico.** Integra los dos cubos mencionados anteriormente y utiliza las mismas dimensiones de estos. Permite presentar la información requerida para la toma de decisiones al respecto.

Presentación de la información

Con el fin de facilitar la generación de los reportes a partir del modelo OLAP desarrollado, se creó un sistema que permite a los profesionales de Bienestar generar conocimiento valioso para la dependencia y generar políticas para el ofrecimiento de servicios que promueven la permanencia estudiantil.

Las representaciones ilustradas a continuación son algunas imágenes producto del trabajo en conjunto con la Dirección Nacional de Bienestar Universitario de la Universidad Nacional de Colombia.

La Fig. 2 representa las cantidades de estudiantes activos y bloqueados con uso de servicios de bienestar, los registros con NO APOYO indican los estudiantes que no han hecho uso de los servicios. Los valores N y S representan el estado del estudiante activo (N) y bloqueado (S).

Fig. 2

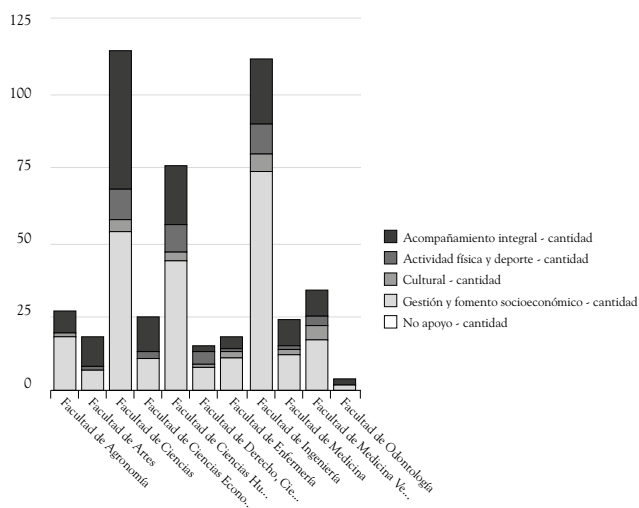
Estudiantes con uso de servicios y su estado académico en el periodo 2016-03

servicios.servicios	N	S
	cantidad	cantidad
Acompañamiento en la Vida Universitaria	462	55
Gestión de Proyectos	118	4
Acondicionamiento Físico e Instrucción Deportiva	1.508	14
Deporte de Competencia	131	6
Actividad Lúdica Cultural	1.955	7
Expresión de Talentos	1.518	5
Promoción de la Interculturalidad	66	1
APOYO ALIMENTARIO	475	24
APOYO ECONÓMICO	98	3
APOYO PARA EL ALOJAMIENTO ESTUDIANTEL	87	4
APOYO PARA EL TRANSPORTE ESTUDIANTEL	705	39
NO APOYO	6.959	1.109

La Fig. 3 representa la cantidad de estudiantes que han desertado de la Universidad Nacional de Colombia que hicieron uso de alguno de los servicios. Se observa que la mayor cantidad de desertores se encuentran en las facultades de Ciencias, Ciencias Humanas e Ingeniería lo que concuerda con el tamaño de esas facultades. Adicionalmente se observa que la prevalencia de servicios esta en gestión y fomento socioeconómico.

Fig. 3

Estudiantes desertores que hicieron uso de servicios de bienestar



La Fig. 4 representa la población estudiantil que tiene mayor riesgo de deserción por causa académica; es decir, que su promedio académico se encuentra entre 3.0 y 3.3. El reporte construido permite visualizar la información por cada facultad de la Universidad Nacional de Colombia. La integración de los datos con las áreas de Bienestar permite realizar un seguimiento académico a aquellos estudiantes que cuentan con servicios.

Fig. 4
Cantidad de estudiantes en servicios de bienestar con PAPA entre 3.0 y 3.3

facultad.facultad	acompañamie integral	actividad física y deporte	3.0-3.3		
			cultura	gestión y fomento socioeconóm	no apoyo
cantidad	cantidad	cantidad	cantidad	cantidad	cantidad
FACULTAD DE AGRONOMIA	4	10	17	9	43
FACULTAD DE ARTES	5	4	9	5	64
FACULTAD DE CIENCIAS	31	52	76	24	182
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS	3	12	28	11	97
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS	8	15	32	21	85
FACULTAD DE DERECHO, CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES	1	4	7	1	24
FACULTAD DE ENFERMERÍA	2	6	13	12	19
FACULTAD DE INGENIERÍA	29	53	132	48	351
FACULTAD DE MEDICINA	10	10	23	24	76
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y DE ZOOTECNIA	10	19	20	18	53
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA	3	4	14	10	34

Detección de deserción a través de minería de datos

A partir de la bodega de datos y del procesamiento de los datos se construyó una vista preprocesada que permite identificar la relevancia de los servicios ofrecidos por Bienestar Universitario en el desempeño académico de los estudiantes. Se ejecutaron algoritmos de clasificación para hacer un análisis predictivo de deserción de estudiantes y determinar la influencia de las variables seleccionadas en el desarrollo académico de los estudiantes.

Con el fin de ejecutar los análisis de minería que cumplieran con los objetivos de este proyecto, se realizó la identificación de variables para la vista preprocesada en compañía de la Dirección Nacional de Bienestar Universitario descritas en la Tabla 1, reconociendo las variables académicas, socioeconómicas y de bienestar que identifiquen la influencia de Bienestar en el ámbito académico.

Para los procesos de minería realizados se clasificaron los datos de los estudiantes con semestres cursados y los estudiantes con causas de bloqueo -únicamente académicas-. Por lo tanto, se filtraron los estudiantes con causas *Activo y Pérdida de calidad de estudiante por PAPA menor a 3.0* obteniendo 10482 estudiantes en 51 planes académicos.

Tabla 1

Variables seleccionadas para el proceso de clasificación de deserción

Variable	Tipo	Descripción
Área de Bienestar	Bienestar	Indica el área de bienestar en caso de que el estudiante haya hecho uso de servicios de bienestar.
Estrato	Socioeconómico	Indica el estrato socioeconómico de la vivienda en la que reside el estudiante.
Sexo	Socioeconómico	Indica el sexo del estudiante.
Tipo de colegio	Socioeconómico	Indica el carácter del colegio que egresó el estudiante: privado, oficial, nocturno.
Subacceso	Socioeconómico	Indica el tipo de admisión del estudiante a la universidad.
Responsabilidad	Socioeconómico	Indica el responsable socioeconómico del estudiante.
Vivienda propia	Socioeconómico	Indica si el estudiante reside en vivienda propia, arrendada o con crédito.
Porcentaje de avance	Académico	Indica el porcentaje de avance del estudiante en el programa académico.
PAPA	Académico	Indica el promedio académico ponderado acumulado del estudiante P.A.P.A. [2]
Tendencia_papa	Académico	Indica la tendencia del P.A.P.A. respecto al semestre anteriormente cursado.
Semestre	Académico	Indica el número de matrículas cursadas.
Puntaje Básico de Matrícula – PBM	Socioeconómico	Indica un puntaje asignado por la universidad para determinar el valor de matrícula a pagar por el estudiante [13].
Estado	Académico/clase	Indica el estado académico del estudiante.

Modelo de predicción

Los algoritmos de clasificación permiten determinar las condiciones que generan la deserción y la permanencia de los estudiantes. Esto los convierte en una técnica representativa para la generación de cursos de acción que contrarresten el bajo rendimiento académico a partir de acciones de Bienestar Universitario.

Los algoritmos escogidos para realizar el proceso de clasificación fueron las redes bayesianas y los árboles de decisión. Estos algoritmos permiten identificar confiablemente los datos nominales y numéricos para determinar variables y obtener modelos de predicción de deserción, permitiendo a la dependencia interesada reconocer la influencia de los servicios, así como también identificar los estudiantes con tendencia al deceso académico.

El proceso de minería fue realizado para la vista preprocesada mencionada anteriormente, por lo tanto, los modelos fueron ejecutados para determinar la influencia de las variables en el estado del estudiante *Activo* y *No Activo*.

El modelo construido predice el grado de permanencia estudiantil, a partir de variables socioeconómicas y académicas, así como del uso o no de los servicios ofrecidos por Bienestar Universitario.

Experimentación

Para el caso del Modelo de predicción de deserción estudiantil, se configuró el árbol de decisión de tal manera que permitiera la poda del árbol, con el objetivo de identificar claramente las reglas de clasificación encontradas por el algoritmo, lo que permitió determinar condiciones para las variables seleccionadas.

Para observar diferentes resultados se experimentó ejecutando los algoritmos con diferentes niveles de confianza para la poda del árbol, 0.10, 0.25, 0.40 y 0.70. Por otra parte la red bayesiana se configuró para que utilizara el algoritmo de búsqueda K2.

Como parte del proceso se experimentó con un clasificador sensitivo para darle prioridad a la clasificación de los estudiantes bloqueados, ya que es más importante clasificar correctamente los estudiantes bloqueados, que un estudiante de bajo riesgo de desertar como bloqueado. Los parámetros de la matriz de costos se escogieron de tal forma que el clasificador aceptara alrededor de 10 % de error en la predicción de deserción académica. Para la ejecución del árbol de decisión se utilizó un factor de confianza del 25 %.

Tabla 2
Configuración de la matriz de costos

Clasificación	Pred. No bloqueado	Pred. Bloqueado
Real No bloqueado	0	1
Real bloqueado	5	0

Los clasificadores fueron evaluados a través de las matrices de confusión generadas a partir de la clasificación de deserción construida, este método permite determinar el rendimiento del modelo mediante medidas de precisión (1), exactitud (2) y recall (3) a partir de los datos correcta o incorrectamente clasificados.

Las matrices de confusión clasifican los resultados de acuerdo a las siguientes características:

- Si el algoritmo clasifica un valor positivo como positivo, se considera un verdadero positivo (TP)

- si clasifica un valor positivo como negativo, se considera un falso negativo (FN)
- si clasifica un valor negativo como negativo, se considera un verdadero negativo (TN)
- si clasifica un valor negativo como positivo, se considera un falso positivo (FP).

$$\text{Precisión} = TP / (TP + FP) \quad (1)$$

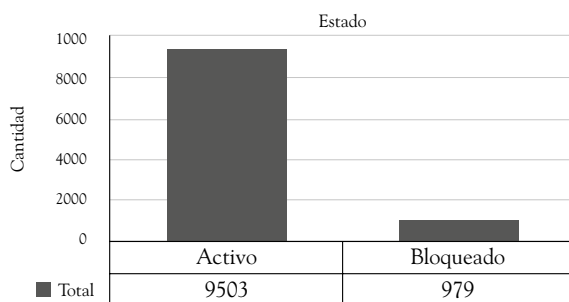
$$\text{Exactitud} = (TP + FP) / (P + N) \quad (2)$$

$$\text{Recall} = TP / P \quad (3)$$

Resultados

Antes de ejecutar los algoritmos, sobre el conjunto de datos se analizó la distribución de la clase Estado, se notó que el desbalanceo de la clase era demasiado grande 90.6 % para *No Bloqueado* y 9.33 % para *Bloqueado*. Sin embargo, a pesar del desbalanceo de la clase que procedió a experimentar con los datos originales. En la Fig. 5 se puede observar la distribución de la clase.

Fig. 5
Distribución de la clase estado



Se realizaron varios experimentos con el fin de determinar qué modelo es más preciso a la hora de clasificar instancias y con esto aumentar el grado de predicción de deserción estudiantil. Con el fin de evitar el sobreajuste, es decir, al entrenamiento demasiado preciso al conjunto al conjunto de datos, se construyeron los modelos a partir del método de validación cruzada con una configuración de 10 iteraciones en cada ejecución.

Los resultados de la ejecución demostraron que independientemente del desbalanceo, el algoritmo es capaz de clasificar correctamente las instancias con un porcentaje de precisión alto, cuyos resultados se aprecian en la Tabla 3. Para determinar la calidad de la clasificación de los algoritmos, se validaron los datos de las matrices de confusión los cuales son presentados en la Tabla 4.

Tabla 3

Resultados de modelos de clasificación con diferentes factores de confianza

Clasificador	Confianza	Exactitud	Área ROC
Árbol de Decisión (a)	0.10	97.30 %	0.964
Árbol de Decisión (b)	0.25	97.35 %	0.964
Árbol de Decisión (c)	0.40	97.39 %	0.963
Árbol de Decisión (d)	0.70	97.02 %	0.932
Árbol de Decisión (Matriz de Costos) (e)	0.25	96.75 %	0.936
Red Bayesiana (f)		97.01 %	0.981

Tabla 4

Matrices de confusión

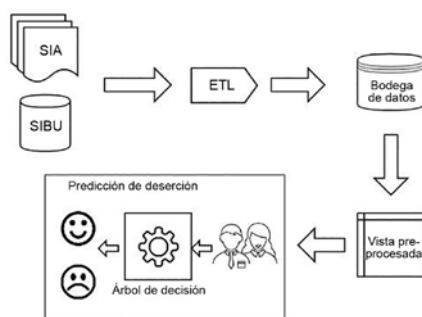
Clasificación	Clasificado	Clasificación	Precisión	Clasificado	Clasificación	Precisión
	No bloqueado	Bloqueado		No bloqueado	Bloqueado	
Real No bloqueado	9413	90	98 %	9399	104	98.2 %
Real bloqueado	193	786	89.7 %	173	806	88.6 %
Recall	99.1 %	80.3 %		98.9 %	82.3 %	
	(a)			(b)		
Clasificación	Clasificado	Clasificación	Precisión	Clasificado	Clasificación	Precisión
	No bloqueado	Bloqueado		No bloqueado	Bloqueado	
Real No bloqueado	9403	100	98.2 %	9371	132	98.1 %
Real bloqueado	173	806	89 %	180	799	85.8 %
Recall	98.9 %	82.3 %		98.6 %	81.6 %	
	(c)			(d)		
Clasificación	Clasificado	Clasificación	Precisión	Clasificado	Clasificación	Precisión
	No bloqueado	Bloqueado		No bloqueado	Bloqueado	
Real No bloqueado	9262	241	98.9 %	9467	36	97.2 %
Real bloqueado	99	880	78.5 %	277	702	95.1 %
Recall	97.5 %	89.9 %		99.6 %	71.7 %	
	(e)			(f)		

A partir de los valores de precisión y *recall* de cada una de las ejecuciones, se determinó que el árbol más adecuado como modelo de predicción de deserción y permanencia estudiantil es el modelo de Árbol de Decisión que usa la matriz de costos (e), debido a la importancia de la clasificación correcta de estudiantes con tendencia de deserción. En la Tabla 4 se observa que el *recall* para estudiantes bloqueados alcanza un 89.9 %.

Modelo general para detectar deserción

El modelo general de predicción de deserción se presenta en la Fig. 6, la cual ilustra las secciones descritas anteriormente: El primer acercamiento a los datos se hizo a través de los repositorios de datos, los cuales fueron sometidos a análisis exploratorio. Una vez hecho esto se diseñaron los modelos lógicos de la bodega de datos y mediante procesos de ETL, se realizaron las transformaciones necesarias para cargar los datos finales en la bodega de datos, a partir de la cual se realizó un modelo de predicción de deserción estudiantil usando algoritmos de minería de datos.

Fig. 6
Modelo general de predicción de deserción



Conclusiones

El sistema OLAP generado permite la construcción de reportes que ayudan a la dependencia de Bienestar Universitario a tomar decisiones y gestionar políticas para prevenir la deserción estudiantil.

La clasificación mediante árboles de decisión demuestra ser una de las técnicas más adecuadas para la construcción de modelos predictivos usando datos académicos.

A diferencia de lo que podría suponerse sobre el subacceso de los estudiantes, este no representa gran valor en la clasificación. En lugar de este, variables

como la *responsabilidad de los padres sobre el estudiante*, el *tipo de colegio*, PBM y el *estrato* se hacen presentes.

A partir del árbol de decisión se observa que los servicios de apoyos socioeconómicos influyen en el rendimiento académico estudiantil de la población con vulnerabilidades económicas, ya que garantiza alimentación, transporte, alojamiento o sustento económico.

Los servicios ofrecidos por las áreas de Deportes y Cultura de la universidad representan un factor determinante en la permanencia estudiantil, ya que influyen en el sentido de pertenencia y en el desarrollo psico-social y cognitivo.

Cuando el PAPA tiene una tendencia de descenso, se observa que los servicios de Bienestar Universitario tienen una influencia significativa en la condición de permanencia del estudiante en la Universidad.

Los estudiantes que no cuentan con apoyos socioeconómicos tienen una predisposición mayor a la deserción en los primeros dos semestres a diferencia de los que cuentan con mayor avance en el plan de estudios, los cuales dependen de otras variables que definen su condición final.

Cuando no se cuenta con algún servicio de bienestar, las variables con mayor influencia son *sexo* y *subacceso* en la determinación de la clasificación. Adicionalmente, variables de carácter socioeconómico como la tenencia de *vivienda propia*, la *responsabilidad de los padres* sobre el estudiante y el *estrato* se hacen presentes en el resultado.

La proporción de estudiantes con avance mayor del 30 % son clasificados como no desertores, así haya un descenso en el PAPA.

A partir de los datos usados para el entrenamiento de este modelo, se observa que el Modelo de minería señala que los estudiantes tienden a participar más en los servicios de Bienestar Universitario en un rango menor al 30 % del porcentaje de avance.

A partir de la predicción de deserción estudiantil se puede realizar actividades de acompañamiento y asesoría que apoyen la permanencia académica.

Referencias

- [1] Ministerio de Educación Nacional, (2009). “Deserción estudiantil en la educación superior colombiana,” [en línea] Disponible en: http://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702_libro_desercion.pdf

- [2] A. Peña Ayala, *Inteligencia de Negocios: Una Propuesta para su Desarrollo en las Organizaciones*. México, 2006
- [3] J.A. Narvaez, *Solución de inteligencia de negocios para la gestión de recursos educativos y espacios físicos en la Universidad del Magdalena*. Colombia, 2013.
- [4] J. Conesa, *Introducción al Business Intelligence*. Barcelona, España, 2010.
- [5] Y. Amaya, *Modelo predictivo de deserción estudiantil utilizando técnicas de minería de datos*. Ocaña, Colombia, 2014.
- [6] M. Karanik, *Estudio de Perfil de Rendimiento Académico: Un Abordaje desde Data Warehousing*. Argentina, 2015.
- [7] J. Gutiérrez, *Descubrimiento de conocimientos en la base de datos Académica de la Universidad Autónoma de Manizales aplicando Redes Neuronales*. Colombia, 2012.
- [8] M. Bogard, *A Data Driven Analytic Strategy for Increasing Yield and Retention at Western Kentucky University Using SAS Enterprise BI and SAS Enterprise Miner*. Bowling Green, Kentucky, 2013.
- [9] C. López, *Data Mining Model to Predict Academic Performance at the Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá, Colombia, 2013.
- [10] Kimball, *The Data Warehouse Lifecycle Toolkit*. New York, Wiley, 1998.
- [11] Universidad Nacional de Colombia, (2010). *Acuerdo 007 de 2010, Acta 05 del 13 de abril* [en línea] Disponible en: <http://www.legal.unal.edu.co/sisjurun/normas/Norma1.jsp?i=37468>
- [12] Universidad Nacional de Colombia, (2008). *Acuerdo 008 de 2008, Acta 03 del 15 de Abril* [en línea] Disponible en: <http://www.legal.unal.edu.co/sisjurun/normas/Norma1.jsp?i=34983>
- [13] Universidad Nacional de Colombia, (1993). *Resolución 2146 de 1993, Acuerdo No 100 de 1993* [en línea] Disponible en: <http://www.legal.unal.edu.co/sisjurun/normas/Norma1.jsp?i=34298>
- [14] P. Praveen, *A Comparative Study For Predicting Student's Academic Performance Using Bayesian Network Classifiers*. India, 2013
- [15] E. Roth, *A Model to Predict Ohio University Student Attrition from Admissions and Involvement Data*. Ohio, USA, 2008
- [16] E. Fischer, *Modelo para la Automatización del Proceso de Determinación de Riesgo de Deserción en Estudiantes Universitarios*. Chile, 2012

(SUBMISSION 171)

Validación de un catálogo de prácticas colaborativas como apoyo a la enseñanza de la programación con enfoque de género: estudio de caso – Universidad de San Buenaventura

BEATRIZ GRASS R.

*Grupo LIDIS, Facultad de Ingeniería
Universidad de San Buenaventura*

CÉSAR COLLAZOS

*Grupo IDIS, FIET,
Universidad del Cauca, Colombia*

MAYELA COTO C.

*Escuela de Computación en Informática
Universidad Nacional de Costa Rica – Costa Rica*

Resumen

Este artículo presenta el estudio de caso realizado en la Universidad de San Buenaventura, con el objetivo de validar un conjunto de prácticas colaborativas que se constituyen como una propuesta de catálogo de prácticas colaborativas como apoyo a la enseñanza de la programación con enfoque de género, el cual se realizó en el marco de una investigación de una tesis de maestría. Este estudio de caso se realiza a partir de la identificación de las dificultades identificadas

en las mujeres que toman la decisión de estudiar profesiones relacionadas con la informática, sistemas o computación. En el artículo se evidencia cada uno de los pasos realizados, los instrumentos de medición y la recolección de información diseñados para tal fin. Finalmente, un análisis de los datos obtenidos del experimento.

Palabras clave: aprendizaje significativo, actividades colaborativas, estrategias de enseñanza, género en ingeniería, enseñanza de la programación.

Introducción

En el presente artículo, se propone un catálogo de prácticas colaborativas como apoyo a la enseñanza de la Programación, con enfoque de género, que es producto de una caracterización de las prácticas tradicionales de enseñanza de la programación, incorporando elementos de colaboración y agregando adicionalmente los aspectos de género que se infieren de un ejercicio de exploración de otras investigaciones relacionadas con el aprendizaje de las mujeres.

La Real Academia Española define *catálogo* como: “Relación ordenada en la que se incluyen o describen de forma individual libros, documentos, personas, objetos, etc., que están relacionados entre sí”. Para el caso específico de esta investigación, se describirán las prácticas colaborativas con enfoque de género.

Este catálogo se presenta con el fin de proponer una alternativa para la enseñanza de la programación a las mujeres que toman la decisión de convertirse en profesionales de los sistemas, la informática o la computación, teniendo en cuenta que históricamente han sido cursos que representan mayores dificultades para las mujeres [1].

Así pues, este presenta la propuesta a manera de catálogo como producto de la incorporación de elementos de colaboración y de género para la enseñanza de la programación, posteriormente se presenta la validación del catálogo y los resultados de la validación en ocho diferentes prácticas colaborativas propuestas en este, para finalizar con un análisis de los resultados y posteriores conclusiones del estudio de caso.

Marco teórico de referencia

Las mujeres en informática

Hay evidencia de que las mujeres no cuentan con una representación en áreas de informática en el mundo [2]; ya que solo un 10 o 15 % de la población total

de estudiantes de estas carreras en el mundo, son mujeres. A ello se le suma una situación de desigualdad en la fuerza de trabajo laboral [3]. Esta baja representación de las mujeres en áreas de informática es algo de hace unas décadas, porque en los inicios de ésta ciencia, las mujeres eran fuertes representantes en la informática [4].

En Colombia, los estudios sobre diferencias de género en carreras de informática, se llevan a cabo en las universidades de acuerdo a los intereses de cada una -cuando existen-. Ello obedece quizá a que, en realidad, no existen informes que soliciten dicha información para ser condensada en informes de país; sin embargo, eso no significa que no existan intereses relacionados con lo que sucede con las mujeres que deciden estudiar carreras relacionadas con la informática. El Ministerio de las TIC (tecnologías de información y comunicación) de Colombia evidencia su preocupación cuando las cifras de estudiantes y profesionales de estas áreas, de cualquier género, es tan bajo en relación con las necesidades de la industria de *software* y las políticas de país para fortalecer el área de desarrollo, para potenciar a Colombia como un exportador de *software* para el mundo [5].

Las mujeres están convencidas de que estudiar carreras relacionadas con las TIC's requiere altas competencias y habilidades, para las cuales ellas no están preparadas, por tal razón esta área no se constituye dentro de las opciones de primera mano para definir como proyecto de vida [2].

Muchos autores se han preocupado por el problema de brecha de género en los programas relacionados con tecnologías de la información, el cual ha sido documentado en otros países. Se concluye que las diferencias de género están relacionadas con un sesgo cultural con el que las mujeres se identifican desde que son niñas, este se relaciona con la cultura profesional [6]. Este autor propone cinco medidas posibles para reducir dichos sesgos:

- Reducir el requisito de experiencia previa en la programación, ya que podría ser una barrera para el ingreso de mujeres en programas de informática [7]. Para abordar esta temática, la programación de cursos introductorios puede reestructurarse para exigir menos habilidades de programación y centrarse más en los aspectos conceptuales. En los grupos focales llevados a cabo con mujeres estudiantes de programas de Ingeniería de Sistemas en Valle del Cauca-Colombia, se identifican serias dificultades en la manera como se aborda la enseñanza de estos cursos.
- Los temas en el plan de estudios de estos programas académicos deben ser tratados de una manera más neutral, es decir que sean programas incluyentes, brindando mayores niveles de comodidad de elegir este tipo de carreras.

- Es importante desarrollar mecanismos de tutoría para las mujeres, ya que a menudo son excluidas de los mecanismos existentes. Esto pudo detectarse en los grupos focales realizados en diferentes universidades de Cali y aplicados en mujeres de las carreras de ingeniería de sistemas, se identifican las tutorías como estrategias válidas y de impacto positivo para su aprendizaje; ellas mismas identifican que el tener la oportunidad de realizar sus ejercicios de forma más detallada y tranquila, les permite apropiar los conocimientos con mayor confianza.
- El apoyo entre pares puede ser útil. En este sentido, el grupo de trabajo en las clases puede ser beneficioso, especialmente la programación en parejas, donde dos estudiantes trabajan en un problema de programación, en lugar de hacerlo de forma individual. En los grupos focales, las mujeres manifiestan sentirse más cómodas cuando tienen la oportunidad de trabajar en parejas con otras mujeres, teniendo en cuenta que aprenden de manera similar y se les hace necesario tomarse el tiempo suficiente para entender los diferentes temas. Esto no sucede cuando sus parejas son hombres, los hombres acostumbran hacer intentos, por diferentes vías, pero en tiempos más cortos, que el que ellas manifiestan necesitar [8]. Esto podría generarles mayores niveles de ansiedad y preocupación, surtiendo efectos contrarios al deseado.
- Las reformas son necesarias para hacer frente a la cultura dominada por los hombres de la informática. Esto es muy evidente en el lenguaje de la informática, que muestra una orientación masculina clara: inicia el computador, encontrar un proceso, la ejecución de instrucciones, y matando o abortando un programa. Para las mujeres, la estrategia debe ser diferente, y esto debe estar en la mente de quienes enseñan estos cursos. Las mujeres manifiestan en los grupos focales, la comodidad que les genera tomar los cursos de Programación con profesoras, pero la probabilidad de encontrar mujeres enseñando estas temáticas, también son bajas.

Existen trabajos de con el objetivo de identificar los diferentes mecanismos de las mujeres para el aprendizaje, particularmente en las áreas de informática y tecnología. Existen aportes desde diferentes lugares geográficos, en relación a las características identificadas en las mujeres en la apropiación de conocimiento y su participación en equipos de programación u otros equipos de trabajo, entre otras.

Aprendizaje basado en colaboración

El aprendizaje colaborativo es una teoría educativa que involucra a dos o más personas que trabajan juntas para aprender algo, es una teoría que vuelve a

cobrar vigencia desde la aparición de los modelos educativos en línea y con los estudiantes actuales que son nativos digitales. Se basa en la idea general de que las personas pueden aprender más unos de otros, mediante el intercambio de experiencias, conocimientos y la interacción social. Muchos autores que defienden esta teoría, argumentan que el intercambio de forma activa, el debate y la negociación de ideas entre pares, aumenta el interés en el aprendizaje [9].

La implementación del aprendizaje colaborativo requiere de elementos esenciales que lo definen y le dan sentido [10]. Se han identificado múltiples elementos positivos al utilizar las actividades colaborativas en las aulas de clase, las cuales están relacionadas con la motivación de los estudiantes, el incremento del aprendizaje de cada uno y del colectivo, la perpetuación del conocimiento adquirido, la reducción de ansiedad y la disminución del tiempo de ejecución de las tareas asignadas a los estudiantes entre otras.

Muchos autores han definido los principales componentes del aprendizaje colaborativo. En [11] se proponen cinco principios: interdependencia positiva, interacción cara a cara, igualdad de participación, responsabilidad individual y habilidades sociales. Por su parte [12] identifica elementos tales como la participación activa de los alumnos, establecer y mantener un entendimiento común, el pensamiento crítico, la evaluación progresiva y la ayuda mutua.

De acuerdo con [9] en una colaboración exitosa, la sinergia es mayor y los resultados son mejores que la suma de los resultados individuales. Para que la colaboración sea eficaz, los miembros deben participar en actividades de trabajo en equipo y otras tareas que tienen que ver explícitamente con el desarrollo de las habilidades sociales necesarias para trabajar en grupo. Los miembros también deben participar en actividades en las que se discute la eficacia del trabajo conjunto, donde las habilidades interpersonales influyen en el correcto funcionamiento del grupo.

Para lograr el objetivo, se deben estructurar actividades que aseguren una verdadera colaboración, y para esto se requieren elementos que deben ser estratégicamente llevados a cabo; no es suficiente animar a un grupo de estudiantes y a un docente a que desarrollen una tarea de forma conjunta para alcanzar un objetivo en común, el aprendizaje colaborativo va más allá, el aprendizaje es efectivo si los participantes trabajan en escenarios bien diseñados, en actividades que garanticen la apropiación del aprendizaje, la motivación para adquirirlo [13]. Con el auge de las tecnologías de información y comunicación, el aprendizaje colaborativo, trasciende, constituyéndose en una nueva área de interés, al vincular el aprendizaje colaborativo con las TIC, llamada aprendizaje colaborativo soportado por computador (CSCL por sus siglas en inglés).

Catálogo de prácticas colaborativas con enfoque de género

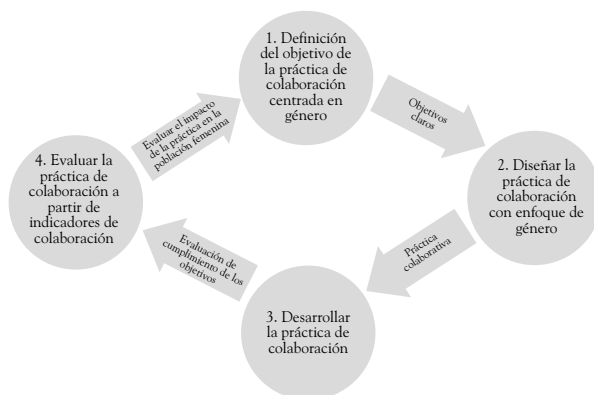
Un catálogo de prácticas colaborativas es un inventario de prácticas que involucra elementos propios de la colaboración, ideales para ser puestas en práctica con el fin de fomentar el aprendizaje con enfoque de género y que puede ser consultado en mayor detalle cuando el profesor toma la decisión de llevar a cabo una de ellas, en el marco de la enseñanza de la programación.

En la figura se describe el método usado para la construcción del presente catálogo de prácticas colaborativas para apoyar la enseñanza de la programación a estudiantes género femenino en programas de Ingeniería de Sistemas. La figura 1, a partir de una fase inicial de definición del objetivo de la práctica colaborativa y con unos resultados como desarrollo de cada fase, que a su vez, se constituyen los elementos de entrada de la fase siguiente, se constituyen el paso a paso para la consolidación del presente catálogo. Este catálogo se construye a partir de la conceptualización de elementos de colaboración y de aspectos de género que se extraen de otras investigaciones con enfoque de género.

Se define cada fase, teniendo en cuenta que con el insumo final, resultado de la evaluación de la puesta en marcha de la práctica colaborativa a nivel de resultados y de motivación de las estudiantes a partir de unos indicadores de colaboración, se refinó la práctica, cuando hubo necesidad de ello.

Fig. 1

Proceso de diseño, construcción y evaluación de las prácticas colaborativas para la enseñanza de la programación a las estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas



Para la realización de una práctica colaborativa al interior de los cursos de programación, se definen las siguientes fases:

1. **Fase 1. Definición del objetivo de la práctica colaborativa con enfoque de género:** el docente identifica la razón de ser de la práctica colaborativa desde varias perspectivas:
 - *Académica:* qué se pretende enseñar a la estudiante (conceptos, definiciones, destrezas)
 - *Motivacional:* qué intereses quiere despertar o fomentar en la estudiante, que resultados se pueden lograr a partir de la práctica colaborativa, se debe identificar cómo enseñarlo de la mejor manera, pensando de manera específica en las mujeres, cómo lograr que sea significativo para que ellas se sientan motivadas a hacerlo.
2. **Fase 2. Diseñar la práctica colaborativa:** se identifican los recursos necesarios, el conjunto de tareas con el fin de que la práctica colaborativa se logre de manera adecuada, se identifica cuál será la estrategia para que las mujeres lo perciban importante para su formación y se proponen unos patrones que se involucren con el desarrollo de esta práctica, que se desarrollarán a partir de uno o varios thinklets, según sea necesario para el alcance de los patrones.
3. **Fase 3. Desarrollo de la práctica colaborativa:** se constituye la puesta en marcha de la práctica diseñada arriba, con los recursos identificados como necesarios, los roles asignados, las responsabilidades bien definidas y las tareas ejecutadas en el orden que se establece.
4. **Fase 4. Evaluar la práctica colaborativa:** esta se realiza de dos maneras:
 - Se evalúa el resultado desde lo académico obtenido por las estudiantes en los cursos de programación, con el fin de identificar si surten mejores resultados en términos de calificaciones, o si por el contrario, los resultados permanecen iguales o disminuyen.
 - Se evalúa la motivación, con el fin de identificar si las estudiantes perciben importante y significativa la práctica, en aras de su formación profesional como ingenieras. Esto se medirá a partir de unas entrevistas sencillas que consulten a la estudiante su percepción en relación a cómo se sintieron con el desarrollo de la práctica en comparación con las prácticas de enseñanza tradicionales.

Se propone como herramienta de validación del catálogo, el estudio de caso que se presenta y se desarrolla en este artículo. Se sigue como referencia para la construcción del estudio de caso, una guía para el reporte de estudio de caso en Ingeniería de Software, expuesto por Per Runeson & Martin Höst [14]. Se

seguirán todos los elementos sugeridos en la guía para demostrar la rigurosidad del ejercicio.

Siempre que pensamos en ingeniería de sistemas, informática o áreas afines, pensamos en profesiones que requieren mucha fortaleza física y mental, y que comúnmente se realiza por personas del género masculino, sin embargo dentro de estas áreas existe una minoría de personas del género femenino cuya deserción aumenta a medida que van pasando los semestres. Este comportamiento evidencia un patrón que se ve a simple vista y que de cierta manera ha generado una problemática, ya que es importante mantener la diversidad de género y de pensamiento dentro de esta área. El estudio de estas profesiones, genera grandes dificultades, cuando se abordan los cursos del área de programación, es por eso que mediante el siguiente estudio de caso se evaluará un catálogo de prácticas colaborativas con enfoque de género como apoyo a la enseñanza de la Programación en carreras de informática y afines.

Validación del catálogo de prácticas colaborativas como apoyo a la enseñanza de la programación con enfoque de género

Razón fundamental

Este estudio de caso se lleva a cabo con el fin de evaluar el impacto de la puesta en marcha de las prácticas colaborativas con enfoque de género, condensadas en el catálogo que se construye y se propone a lo largo de este trabajo de investigación, en el salón de las clases de Introducción a la Programación de cuatro cursos del curso inicial de Programación en la Universidad de San Buenaventura, donde los estudiantes de tres programas académicos: Ingeniería de Sistemas, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Multimedia, toman sus clases.

En estas prácticas se evaluarán dos elementos:

- La motivación de las estudiantes de género femenino
- El rendimiento académico, en términos de resultados y calificaciones de las estudiantes de género femenino.

Con este estudio de caso se podrá concluir si las prácticas colaborativas usadas como apoyo a la enseñanza de la programación en estudiantes de género femenino [8] permiten mejorar sus resultados académicos y sus niveles de motivación, que conduzcan a mejorar los índices de participación de las mujeres en las áreas de Ingeniería de Sistemas, de Software, Informática y Computación.

Objetivos

La presente investigación tiene como objetivo: implementar un conjunto de prácticas consignadas en el Catálogo de Prácticas Colaborativas como apoyo a la enseñanza de la Programación a estudiantes de género femenino del Programa de Ingeniería de Sistemas, con el fin de evaluar el impacto en términos de rendimiento, de motivación en las estudiantes y de colaboración al interior de las mismas. Como objetivos específicos se tiene: (1) construir un Plan de Trabajo para implementar un conjunto de prácticas colaborativas en los cursos de Introducción a la Programación de la Universidad de San Buenaventura Cali, (2) implementar en cada espacio asignado, la práctica propuesta de forma tradicional y la práctica colaborativa propuesta, (3) diligenciar las fichas con las que se recopilará la información que permitirá analizar y determinar si las prácticas propenden por mejores resultados en términos de calificaciones y de motivación, (4) analizar los datos obtenidos de cada práctica colaborativa implementada para establecer comparaciones y concluir respecto al impacto de las prácticas colaborativas en la enseñanza de la programación.

Casos y unidades de análisis

En este experimento se evaluarán los tres siguientes aspectos:

Tabla 1
Aspectos a evaluar en el estudio de caso

Aspecto a evaluar	Justificación en el estudio de caso
Métricas de colaboración	Se evalúa con las métricas definidas en [10], para determinar si una práctica diseñada de manera rigurosa con los elementos de colaboración, mejora realmente el ejercicio de colaboración al interior de los grupos de trabajo.
Resultados (calificaciones)	Los estudiantes de cualquier género, siempre consideran un elemento de alto impacto, las calificaciones o resultados obtenidos en el desarrollo de sus cursos. Estos resultados propenden por disminuir los índices de deserción.
Motivación / Aprendizaje Significativo	Las estudiantes consideran un elemento de alta relevancia, el hecho de que encuentren una razón de ser para los conceptos y conocimientos que adquieren. [15] La motivación es importante para que esto suceda. [16]

Se evaluaron cuatro prácticas colaborativas propuestas en dos cursos de introducción a la programación, de la Universidad de San Buenaventura Cali.

Con base en lo antes expuesto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se contribuye a la enseñanza de la Programación a estudiantes de género

femenino del Programa de Ingeniería de Sistemas partir de la implementación de un conjunto de prácticas consignadas en el Catálogo de Prácticas Colaborativas?, ¿Cuál será el impacto de esta implementación en términos de rendimiento y de motivación en las estudiantes?

Planeación

Métodos de recolección de datos

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizaron dos instrumentos de recolección de datos. Los dos instrumentos consignan información cuantitativa y cualitativa, la cual es recogida a partir de grupos focales en los que se lleva a cabo cada práctica realizada, con el fin de validar la práctica y la puesta en marcha acorde a lo plasmado en cada ficha.

Se propone la aplicación de grupos focales por universidad, teniendo en cuenta que las poblaciones de mujeres en los programas de Ingeniería de Sistemas son pequeños, y este método es pertinente y ajustado al objetivo del estudio de caso, y que un grupo focal es un grupo de discusión organizado alrededor de una temática o fenómeno.

David Morgan define el grupo focal como una técnica de investigación que recolecta información producto de la interacción de un grupo de personas, sobre un tópico determinado por el investigador. Morgan parte del supuesto de que esta sería la esencia de los grupos focales, pues el investigador tiene sumo interés de analizar e interpretar la información obtenida de la interacción del grupo.

Leonard Cargan por su parte, define el *focus group* “como un proceso sistemático de entrevista para la obtención de información, mediante una entrevista de discusión previamente estructurada por el moderador del grupo”. Se menciona que el grupo focal es un método cualitativo de investigación, que utiliza la discusión grupal como técnica para la recopilación de información, por lo que puede definirse como una discusión cuidadosamente diseñada para obtener percepciones de un grupo de personas, en este caso las estudiantes mujeres de programas de Ingeniería de Sistemas, del suroccidente colombiano, sobre una particular área de interés: en este caso, su proceso de selección de carrera y su proceso de formación como Ingenieras de Sistemas.

Todas las definiciones encontradas tienen un común denominador y es que el estudio de grupo focal sirve para la recopilación de información con base en experiencias personales sobre un tema específico, basado en el intercambio de opiniones en una reunión de personas.

El grupo focal permitirá recoger información cualitativa, pero al hacerse grupo focal en cada Universidad, se podrán determinar tendencias y datos cuantitativos para analizarse.

Selección de datos

Para este estudio de caso, se harán pruebas en los cursos de Introducción a la Programación de la Universidad de San Buenaventura Cali y de la Universidad Javeriana de Cali, teniendo en cuenta que hay cursos que no tienen participación de ninguna mujer, siendo grupos promedio de 24 estudiantes.

Los datos se recolectan de la misma manera en cada una de las prácticas que se desarrollan al interior de grupos en el curso de Introducción a la Programación. Se revisan los datos cualitativos y cuantitativos, que se han plasmado en tres instrumentos diferentes y que están relacionados con el desempeño de las estudiantes en tres sentidos:

- Calificaciones o resultados cuantitativos de los estudiantes
- Valoración cualitativa de la Motivación con la realización de la práctica
- Valoración cuantitativa de las métricas de colaboración identificadas en la práctica.

Estrategia de selección del caso

Se escogen los cursos de Introducción a la Programación de la Universidad de San Buenaventura por la facilidad de interacción con profesores y estudiantes, además de la colaboración e interés de los profesores por identificar nuevas prácticas que permitan incrementar los resultados y la motivación en el aprendizaje de la Programación, teniendo en cuenta que estos cursos y temas abordados se constituyen de alta relevancia para el desarrollo de las habilidades que todo Ingeniero de Sistemas debe demostrar en la industria.

Teniendo en cuenta el tipo y objetivo de cada tipo de selección, para este estudio de caso, se selecciona la que se ha sombreado en gris en la tabla siguiente:

Tabla 2
Tipos de selección de información para el estudio de caso

Tipo de selección	Objetivo
Selección aleatoria	Este tipo de selección pretende evitar el sesgo Sistemático en la muestra. El tamaño de la muestra es decisivo para la generalización
1. Muestra aleatoria	Intenta lograr una muestra representativa que permite la generalización a toda la población

Tipo de selección	Objetivo
2. Muestra estratificada	Se propone una generalización específica tomando determinados subgrupos dentro de la población.
Selección orientada por la información	Este tipo de selección se da cuando se pretende maximizar la utilidad de la información desde pequeñas muestras y casos Únicos. Los casos son seleccionados sobre la base de las expectativas acerca de su Contenido informativo.
1. Casos extremos/ desviados	En cuanto a los casos extremos, el objetivo es obtener información sobre casos atípicos, que pueden ser especialmente problemáticos o especialmente apropiados para estudiar alguno de sus aspectos en particular.
2. Casos de máxima variación	Los casos que presentan máxima variación se estudian cuando el objetivo es obtener información acerca de la importancia de las diversas circunstancias en los casos en los que se estudia el proceso y/o el resultado.
3. Casos críticos	El tercer tipo, el de los casos críticos persigue el propósito de conseguir la información que permite deducciones lógicas del tipo “Si esto (no) es válido para este caso, entonces (no) lo es para los otros casos”.
4. Casos paradigmáticos	Funciona como punto de referencia, como un foco para el desarrollo de una escuela de pensamiento.

Se toma una muestra aleatoria, pero para los casos de los grupos de programación y teniendo en cuenta que históricamente se ha evidenciado una baja población de mujeres, y para este caso puntual se tiene una baja participación de mujeres, se tomará en todos los casos el 100 % de la población femenina y algunos estudiantes de género masculino al azar, por eso se escoge una muestra estratificada.

Protocolo del caso

- **Visión general:** la visión general incluye información relacionada con el desarrollo del catálogo de prácticas colaborativas como apoyo a la enseñanza de la programación con enfoque de género.
- **Procedimiento de campo:** este aspecto se refiere al grado de accesibilidad al lugar de estudio y a la información necesaria para la investigación. En este caso, los grupos focales y la recolección de información de calificaciones, se llevó a cabo en la Universidad de San Buenaventura Cali, con previo conocimiento de los responsables (decano, profesores del curso de Programación, estudiantes).

- **Preguntas del estudio de caso:** estas preguntas son para el investigador y no para los entrevistados. Son las que debe mantener siempre en mente el investigador, las cuales para este estudio de caso específico son:
 - ¿Qué diferencias numéricas se pueden identificar al comparar las calificaciones que se obtienen a partir de actividades tradicionales, y luego al realizar las prácticas colaborativas con enfoque de género para la enseñanza de la programación?
 - ¿Qué percepciones pueden identificarse en relación al grado de motivación que manifiestan las estudiantes, al realizar sus prácticas colaborativas para su proceso de aprendizaje de la programación.
 - ¿Qué se puede percibir sobre los niveles de colaboración con la puesta en marcha del catálogo propuesto para este trabajo de investigación?

Consideraciones éticas

Los estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de San Buenaventura Cali, son informados sobre el objetivo de la implementación de un conjunto de prácticas colaborativas, que están plasmadas en el catálogo enunciado en esta investigación, se les informó todo lo relacionado con el grupo focal, de la intención de la investigación y se entregó un consentimiento para que la información levantada en este proceso, fuera analizada y publicada, respetando su privacidad.

Son instrumentos que no detallan nombres o datos, que pudieran dejar en evidencia la identidad de las estudiantes.

De acuerdo con la reglamentación colombiana y a la luz de la Resolución N° 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, hay seis factores principales que proveen un buen marco para el desarrollo ético de las investigaciones en seres humanos:

- **Valor:** Esta investigación busca validar el impacto del uso de las prácticas colaborativas definidas en el catálogo para la enseñanza de la programación en las estudiantes de programas de ingeniería de sistemas.
- **Validez científica:** Se realizan pruebas en el catálogo con el fin de testear la claridad de las fichas descriptivas de cada práctica, el impacto en las calificaciones, la motivación y los niveles de colaboración en cada una de las prácticas implementadas. Se realizan ocho pruebas de las prácticas, con grupos en los que hay representación femenina y se involucran en todos los grupos focales para la evaluación de la práctica.
- **La selección de las mujeres a quienes se aplica la investigación:** la selección de los grupos focales se realiza con el 100 % de las mujeres que hacen parte

del curso y con un grupo aleatorio de estudiantes de género masculino. Esto se realiza de esta manera por la baja cantidad de estudiantes de género femenino.

- **Proporción favorable de riesgo/ beneficio:** los riesgos a los que se exponen los participantes de la investigación son mínimos y los beneficios potenciales para los individuos y los conocimientos ganados para la sociedad deben sobrepasar los riesgos.
- **Consentimiento informado:** el grupo de estudiantes es informado acerca de la investigación y dieron su consentimiento voluntario antes de convertirse en participantes de la investigación.
- **Respeto para las mujeres participantes y por los estudiantes que hacen parte de la selección aleatoria para hacer parte de la valoración de la práctica colaborativa:** se mantiene protegida su privacidad, tener la opción de dejar la investigación y tener un monitoreo de su bienestar.

Se destaca que en este estudio de caso y el objeto determinan un tipo de investigación sin riesgo dado que el estudio que emplea técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos (hombres y mujeres) que participan en el estudio.

Recolección de datos

Se diseñaron espacios de trabajo previa consulta y de acuerdo con los respectivos profesores de los cursos de Programación de la Universidad de San Buenaventura, quienes facilitaron el espacio para realizar las prácticas colaborativas.

Para la práctica, inicialmente se socializó la intención del ejercicio y se solicitó autorización para la toma de los datos, se dieron indicaciones al total de los estudiantes del grupo, se explicó la actividad, se siguieron las instrucciones establecidas en las fichas y así como también se brindó apoyo al profesor para la toma de los datos relacionados con esta investigación.

Al dar inicio a la práctica se contaron los mensajes en cada grupo para poder aplicar las métricas de colaboración. Posteriormente en los grupos focales seleccionados con las mujeres y un grupo al azar de estudiantes de género masculino, se retroalimentó la práctica de acuerdo a los lineamientos establecidos, recogiendo la información que permitirá evaluarla en términos de calificaciones,

motivación y colaboración. Se tomó nota de los elementos relevantes a consignarse en los instrumentos.

Esta información sirvió de insumo para realizar los análisis, pero además se recogieron por cada estudiante sus apreciaciones a las preguntas que se formulan al interior del grupo focal.

Análisis de datos e interpretación

Se evaluaron ocho prácticas colaborativas, que fueron aplicadas y puestas en marcha en dos diferentes cursos de Introducción a la Programación y donde la participación de las mujeres es de dos en uno de los cursos y tres en el segundo de ellos.

Se analizaron los datos de acuerdo con la información obtenida en los instrumentos de las tres categorías establecidas, las cuales están relacionadas con:

- Valoración numérica de los estudiantes con la práctica colaborativa.
- Valoración de motivación de las estudiantes con la práctica colaborativa.
- Métricas de colaboración de la práctica colaborativa.
- Instrumento de valoración numérica de las estudiantes con la práctica colaborativa.

Tabla 3

Instrumento de valoración numérica de las estudiantes con la práctica colaborativa

Id_práctica	Se realizan prácticas: Exposiciones grupales Trabajos en grupo Trabajo independiente Documentos en línea a varias manos Proyecto de aula Actividades gamificadas Ejercicios para aplicar conceptos Construcción de mapas conceptuales
Fecha de realización de la práctica colaborativa	Entre marzo y mayo de 2017
Roles: Rol1: profesor Rol2: estudiante Rol3: grupo de trabajo Rol4: monitor	Los roles que participan en las actividades están detallados en las respectivas fichas de cada actividad.

Tema de clase	Temas de arreglos, matrices, condicionales, sentencias repetitivas.
Evidencia (documentos escritos, programas, exposiciones, ect.)	Se lleva a cabo documentación del proceso, documentos de diferente tipo, actividades de ejercicios gamificados, mapas conceptuales, programas, proyectos, entre otros.
Valoración Numérica de las Estudiantes de género femenino	En todos los ejercicios se observa una valoración positiva en los resultados de las estudiantes.
Comparación general de los resultados con respecto a la práctica tradicional	Cuando es posible comparar los resultados de las calificaciones, se perciben mejores resultados en las prácticas colaborativas.
Roles mejor desempeñados por las estudiantes	Entienden su función y el objetivo de la práctica. Las estudiantes reciben las instrucciones sobre la manera en que se abordan los diferentes temas tratados y n en su grupo de trabajo. En esta práctica las estudiantes hacen parte de grupos con otros miembros de género masculino. Se integran a grupos de trabajo y proponen soluciones para los ejercicios.
¿Los aspectos de género son evidentes en la práctica?	Procesamiento integral de información: SI _____ NO _____ Estrategias de Depuración: SI _____ NO _____ Orientación inter - personal: SI _____ NO _____ Preferencia de juegos creativos: SI _____ NO _____ Auto motivación: SI _____ NO _____ Motivación del Maestro: SI _____ NO _____ Persistencia: SI _____ NO _____. Sentimiento y emoción: SI _____ NO _____ Organización: SI _____ NO _____ Memorizan: SI _____ NO _____ Concentración: SI _____ NO _____
Observaciones adicionales	Las estudiantes al principio sienten alguna desventaja en las habilidades de programación, pero aportan al interior del grupo su solución. La práctica competitiva les genera ansiedad y en ocasiones el profesor debe ejercer motivación adicional. En algunos de los ejercicios se escogen sus soluciones y eso las hace sentir importantes en el aporte del trabajo en grupo. En prácticas donde la organización es importante, los estudiantes de género masculino confían este trabajo a las estudiantes.

Instrumento de valoración de motivación de las estudiantes con la práctica colaborativa

Tabla 4

Instrumento de valoración de motivación de las estudiantes
con la práctica colaborativa

Id_práctica	Se realizan prácticas: Exposiciones grupales Trabajos en grupo Trabajo independiente Documentos en línea a varias manos Proyecto de aula Actividades gamificadas Ejercicios para aplicar conceptos Construcción de mapas conceptuales
Tema de clase	Temas de arreglos, matrices, condicionales, sentencias repetitivas.
Fecha de realización de la práctica colaborativa	Entre marzo y mayo de 2017
Apresiasión de estudiantes que percibieron mejores resultados en comparación con las prácticas tradicionales	Los estudiantes perciben el acompañamiento que realiza el profesor y el monitor como de gran ayuda para realizar sus prácticas de manera satisfactoria. Hay estudiantes mujeres que realizan algunas labores de manera sobresaliente, como la organización de documentos, la depuración de información y la interacción con sus pares.
Porcentaje de estudiantes que consideran que con la participación en la práctica sienten mayor de participar	98 %
Porcentaje de estudiantes femeninas que consideran que con la participación en la práctica sienten mayor motivación de participar	100 %
Porcentaje de estudiantes femeninas que entendieron su responsabilidad en el desarrollo de la práctica colaborativa	100 %

Apreciación de las estudiantes femeninas que participaron en la práctica	Cinco mujeres en dos cursos que suman 48 estudiantes. Ellas sienten las prácticas como interesantes. En las prácticas que implican programas, al principio dudan de presentar sus soluciones, pero luego se van tomando confianza y perciben su proceso de aprendizaje muy similar al de sus compañeros hombres. Socializan sus propuestas y escuchan las de otros con respeto. En las prácticas que involucran construcción de documentos, revisión de fuentes documentales, las mujeres juegan un papel protagónico.
Porcentaje de estudiantes que prefieren continuar trabajando con este catálogo de prácticas colaborativas con enfoque de género	100 %

Instrumento de medición de la colaboración

Existen diferentes propuestas para la medición de la colaboración: [17] propone unos indicadores de la colaboración, que por su nivel de detalle y simplicidad, se adaptan de manera apropiada a la medición de la colaboración en el momento del proceso de validación de las prácticas colaborativas. De esta manera se presentan en la siguiente tabla los indicadores que se evaluaron en las aulas de clase, con las estudiantes de género femenino con las cuales se evaluaron dichas prácticas.

Tabla 5
Instrumento de medición de la colaboración

Indicador	Descripción	Escala de medición	Medida
Aplicación de estrategias (I1)	Evalúa la habilidad de los miembros del grupo para generar, comunicar y aplicar estrategias para resolver problemas de forma conjunta, así como su nivel de éxito.	Valor discreto de 1 o 0, donde 1 refleja que se resolvió el problema y 0 que no se resolvió.	1

Indicador	Descripción	Escala de medición	Medida
Cooperación intra-grupal (I2)	Evalúa la aplicación de las estrategias previamente definidas. Una comunicación fluida, eficiente y oportuna es síntoma de una buena aplicación de la estrategia colaborativa.	Su valor se calcula con la siguiente fórmula: $I2 = 1 - (\text{número de mensajes de estrategia de trabajo} / \text{número de mensajes de trabajo})$ Entre 0 y 1, ponderado en relación inversa a la cantidad de mensajes de trabajo enviados entre los miembros del grupo. Un valor de 1 indica el mayor puntaje para este indicador.	0,84 (en promedio de las ocho prácticas)
Revisión de criterios de éxito (I3)	Evalúa el interés por el desempeño individual y colectivo y exige el compromiso constante de los miembros del grupo. El compromiso debe verse reflejado en un alto número de mensajes de revisión de criterios de éxito.	Entre 0 y 1, ponderado en relación directa al número de mensajes de revisión de criterios de éxito. Un valor de 1 indica el mayor puntaje para este indicador.	1
Monitoreo (I4)	Evalúa la capacidad del grupo para ejecutar la estrategia diseñada, manteniendo el foco en los objetivos y criterios de éxito. Su valor se calcula con la siguiente fórmula: $I4 = 1 - (\text{número de mensajes de estrategia de coordinación} / \text{número total de mensajes})$	Entre 0 y 1, ponderado en relación inversa a la cantidad de mensajes de coordinación enviados entre los miembros del grupo. Un valor de 1 indica el mayor puntaje para este indicador.	= 0,85
Provisión de ayuda (I5)	Evalúa la capacidad de los miembros del grupo para proveer ayuda a los demás en caso de ser necesario.	Entre 0 y 1, donde 0 refleja poca entrega de ayuda y 1 mucha entrega de ayuda.	1

Riesgos de validez

Para garantizar la fiabilidad de los resultados en el estudio de caso y para evitar que no sea sesgado por el punto de vista del investigador, existen diferentes formas de clasificar los aspectos de la validez y las amenazas a la validez. Se ha optado por llevar a la práctica la validez interna y la validez externa. Para asegurar la validez interna, el diseño de los instrumentos de medición y validación de las prácticas colaborativas, son validados por un experto en psicología, con formación en la aplicación de pruebas psicotécnicas y por su profesión de centrarse en el individuo, permite la interacción más natural con los estudiantes. La información que se recoge es cualitativa y la apreciación se toma tal cual se percibe en los grupos focales. Por otra parte, para la validez externa se tiene en cuenta con la participación de todas las mujeres que están matriculadas en el curso de Programación.

Lecciones aprendidas y conclusiones

Los trabajos en temas que involucren género, son puestos en marcha cada vez con mayor frecuencia, pues es para la comunidad científica es un elemento a analizar las razones por las cuales las mujeres no se involucran activamente en áreas como la computación, cuando históricamente, han jugado un papel importante. En otras áreas de conocimiento, se realizan múltiples investigaciones para dar a la mujer un papel más protagónico, teniendo en cuenta que las capacidades de ambos géneros son exactamente iguales [14].

La convergencia entre temas de género y colaboración, es un área amplia de trabajo, que tiene todavía un terreno amplio por explorar, a pesar de esfuerzos en diferentes puntos del planeta [4]. Las dificultades encontradas en esta investigación, justamente son en términos de población femenina para realizar las validaciones. La población de mujeres participando en estos programas académicos del área de TI, es reducida y eso genera inquietudes en relación a la validez de los experimentos.

Los índices de colaboración a partir de las prácticas colaborativas, se miden favorablemente y se recibe como retroalimentación con la implementación del catálogo de las prácticas colaborativas con enfoque de género como un ejercicio que enriquece el aprendizaje de las mujeres en los cursos de programación.

La motivación de las estudiantes se incrementó con la puesta en marcha de estas prácticas, pues las estudiantes se sienten más seguras al emprender tareas con acompañamiento de sus compañeros, profesores y monitores. Se pudo percibir que las estudiantes NO saben menos o no aprenden con mayores dificultades,

sino que existe una actitud de seguridad en los conocimientos que han adquirido y en las habilidades que van desarrollando con las prácticas.

Las mujeres desempeñan de manera satisfactoria algunos roles que profesores y compañeros identifican de manera clara. La organización del grupo de trabajo, la redacción de documentos, la socialización de resultados, son tareas desempeñadas con mayores facilidades por parte de las estudiantes de género femenino.

Conclusiones en términos de valoración numérica de las estudiantes con la práctica colaborativa

- La valoración numérica de los estudiantes (calificación) al evaluar la práctica colaborativa se refleja en unas asignaciones numéricas superiores en términos generales. Los aumentos oscilan entre 0 y 0,6 sobre las notas tradicionales de las estudiantes en calificaciones comprendidas entre 0 y 5,0.
- Cuando se lleva a cabo la comparación general de los resultados respecto a la práctica tradicional, las estudiantes valoran más el trabajo realizado con el apoyo de la práctica colaborativa, sienten que tienen mayor acompañamiento y eso los hace sentir con mayor confianza para hacer parte de cada práctica.
- Al buscar roles en los cuales se desempeñaron mejor las estudiantes, se puede concluir que es indistinto. Sólo hacen énfasis en que cuando tienen claridad en su rol, pueden asumir cualquiera que les asignen.
- Los aspectos de género se evidencian en las prácticas. En algunas de las prácticas implementadas se evidencian otros aspectos de género adicionales a los propuestos. Hay algunos aspectos que pueden ser más comunes en las diferentes prácticas, tales como Organización, Orientación interpersonal, Procesamiento integral de información y las estrategias de Depuración. Estos aspectos son reconocidos en la mayoría de las prácticas que se implementaron en las aulas de clase y los estudiantes de ambos géneros las reconocen como diferenciadoras de las mujeres.

Conclusiones de la valoración de motivación de las estudiantes con la práctica colaborativa

- *Con relación a la apreciación de estudiantes que percibieron mejores resultados en comparación a las prácticas tradicionales:* de los cursos una población por debajo del 10 % prefieren trabajar de manera individual. El resto de la población tiene un concepto positivo y consideran favorecedor el uso de prácticas colaborativas.

- El porcentaje de estudiantes que consideran que con la participación en la práctica sienten mayor motivación de participar: De los cursos una población por debajo del 7 % prefieren trabajar de manera individual. Todos los estudiantes manifiestan mayor motivación con el trabajo que fomenta la práctica colaborativa. Se percibe un compromiso mayor.
- Porcentaje de estudiantes femeninas que consideran que con la participación en la práctica sienten mayor motivación de participar es del 100 %, pues se sienten más motivadas.
- El 100 % de las estudiantes entendieron su responsabilidad en el desarrollo de la práctica colaborativa, y se comprometieron con realizar su rol de la mejor manera.
- La apreciación de las estudiantes femeninas que participaron en la práctica, está relacionada con la confianza que sienten con roles y responsabilidades asignadas e interiorizados y con el seguimiento a la práctica que realiza profesor y estudiante monitor, permite que se realicen mejor las cosas.
- El 100 % de las estudiantes de género femenino, prefieren continuar trabajando con este catálogo de prácticas colaborativas con enfoque de género. Las estudiantes sienten mayor confianza de tener un grupo de trabajo que las enriquezca, que despeje sus dudas, que incluso la motive a continuar adelante en cada práctica que se realiza.

Conclusiones a la luz del instrumento de medición de la colaboración

- Cuando se realiza la evaluación de las diferentes métricas de la colaboración, se identifican aspectos de gran relevancia. Por ejemplo el indicador *Aplicación de estrategias* (I1), en todas las prácticas se reconoce y se da valor 1, pues se percibe la resolución del problema en todos los casos.
- El indicador *Cooperación intra-grupal* (I2), se relaciona con la comunicación al interior del grupo de trabajo con el fin de proponer estrategias de solución. El promedio de este indicador es de 0,84, lo cual permite concluir que los grupos establecen estrategias que conducen a las soluciones y culminación satisfactoria de las prácticas implementadas.
- En relación al indicador *Revisión de criterios de éxito* (I3), los estudiantes entrevistados respondieron afirmativamente sobre su interés por concluir con éxito cada práctica emprendida, con el fin de aprender y que su grupo de trabajo también lo haga.

- El indicador Monitoreo (I4), se evalúa en el 85 %, lo cual permite identificar que entre el grupo, se llevan a cabo mensajes que permiten hacer seguimiento y coordinación para que entre todos los miembros de un grupo de trabajo, se pueda obtener el resultado esperado, en relación al aprendizaje del tema abordado en dicha práctica.
- El indicador Provisión de ayuda (I5), se evalúa en 1, puntaje máximo de este indicador, teniendo en cuenta que en la totalidad de las ocho prácticas implementadas, se identifica compromiso y búsqueda del bien común del grupo de trabajo y del bien individual.

Referencias

- [1] I. Wagner, "Gender and Performance in Computer Science," *ACM Trans. Comput. Educ.*, vol. 16, no. 3, 2016.
- [2] F. J. Mata *et al.*, "Gender Gap in Computer Science Programs from Costa Rican Public Universities ¿Are Women Really Becoming Extinct ?" .
- [3] N. Ensmenger, *History of Computing : Computer Boys Take Over : Computers, Programmers, and the Politics of Technical Expertise*. 2010.
- [4] E. Espino and C. González, "Estudio sobre diferencias de género en las competencias y las estrategias educativas para el desarrollo del pensamiento computacional," *Rev. Educ. a Distancia.*, no. 46, pp. 1–20, 2015.
- [5] P. El Tiempo, (2015) *Preocupante déficit de ingenieros en Colombia*, [en línea] Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16402298>
- [6] T. J. Misa, *Gender Codes*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [7] D. Stoilescu and G. Egodawatte, "Gender differences in the use of computers, programming, and peer interactions in computer science classrooms," *Comput. Sci. Educ.*, vol. 20, no. 4, pp. 283–300, 2010.
- [8] Solomon Olalekan, "Computer Programming Skill and Gender Difference: An Empirical Study," *Am. J. Sci. Ind. Res.*, pp. 1–6, 2015.
- [9] and R. G. C. S. González, C. A. Collazos, "Desafío en el diseño de MOOCs: incorporación de aspectos para la colaboración y la gamificación," *RED. Rev. Educ. a Distancia*. 2016.

- [10] C. Collazos, L. Guerrero, J. Pino, and S. a, "Evaluating collaborative learning processes," *Groupw. Des. Implementation, Use*, vol. 2440, pp. 173–194, 2002.
- [11] and K. A. S. D. W. Johnson, R. T. Johnson, *Active learning: Cooperation in the college classroom*. Edina: Interaction Book Company. 2006.
- [12] a Soller, "Supporting Social Interaction in an Intelligent Collaborative Learning System," *Int. J. Artif. Intell. Educ.*, vol. 12, pp. 40–62, 2001.
- [13] I. Casas, C. Collazos, L. A. Guerrero, C. Leiva, S. Ochoa, and J. Puente, "Addressing computer-supported collaborative learning in the classroom: Experiences in engineering education," in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2010, vol. 2, pp. 2685–2688.
- [14] P. Runeson and M. Höst, "Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering," *Empir. Softw. Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 131–164, 2009.
- [15] C. Collazos, M. Yandar, A. Moreno, R. Vicari, and M. Coto, "Propuesta metodológica de apoyo a los procesos de enseñanza-aprendizaje a través de entornos ubicuos y colaborativos u-cscl," *Octavo Congr. Colomb. Comput. - 8CCC*, pp. 87–90, 2013.
- [16] G. Marín *et al.*, "Are women becoming extinct in the Computer Science and Informatics Program?," *CLEI Electronic Journal*, pp. 1–11.
- [17] M. R. C. Collazos, L. Guerrero, J. Pino, S. Renzi, J. Klobas, M. Ortega and C. Bravo, "Evaluating Collaborative Learning Processes using Systembased Measurement," *J. Educ. Technol. Soc.*, vol. 10 No 3, pp. 257–274, 2007.

(SUBMISSION 147)

Prototipo basado en técnicas de realidad virtual semi-inmersiva para la enseñanza de Cálculo Multivariado y Vectorial en estudiantes de Ingeniería

LEIDY ANDREA RAIGOZA PALACIO

PAULO CÉSAR ALVIS RAMOS

DIEGO ALEJANDRO SÁNCHEZ

FÁBER DANILO GIRALDO VELÁSQUEZ

*Grupo de Investigación SINFOCI**Facultad de Ingeniería. Universidad del Quindío
Colombia*

Resumen

Este trabajo presenta el diseño, implementación y validación funcional de un prototipo software basado en realidad virtual semi-inmersiva para la enseñanza del cálculo multivariado y vectorial en estudiantes de ingeniería. El prototipo contiene una serie de escenarios (salones) con ejemplos de conceptos de dicho curso. Los escenarios son visualizados usando *smartphones* con sistema operativo Android y *cardboards* (gafas estereoscópicas de bajo costo). Para evaluar el producto final, se realizaron varias intervenciones con estudiantes de Ingeniería Civil e Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Quindío aplicando un test Likert. Las pruebas experimentales arrojaron resultados que presentan un alto grado de confiabilidad y aceptación por parte de estudiantes.

Palabras clave: cálculo multivariado y vectorial, *cardboards*, estrategia didáctica, realidad virtual semi-inmersiva.

Introducción

La realidad virtual (en adelante RV), la realidad aumentada (en adelante RA) y sus variaciones representan técnicas de interfaces de usuario que tienen en cuenta el espacio tridimensional. En estas, el usuario actúa de manera multisensorial, explorando sus aspectos a través de la visión, el oído y en ocasiones el tacto [15]. En un contexto educativo, las técnicas la RV brindan experiencias para los educandos tan significativas como las que se viven en la realidad [8]. Esto da un componente adicional, fundamental y que todos los alumnos y docentes buscan en los claustros educativos: *la motivación*. Existe evidencia de que un ambiente de RV que utiliza componentes tecnológicos de inmersión para el aprendizaje, motiva y estimula al estudiante, le permite conocer o reafirmar procesos y conceptos abstractos que difícilmente comprende cuando no los ve [11]. Es en el ámbito educativo donde la RV puede jugar un papel importante como apoyo en los procesos enseñanza/aprendizaje de las matemáticas [17]. En los últimos años y principalmente en los países desarrollados, la RV ha ganado presencia en la educación como un enfoque alternativo a las experiencias de aprendizaje tradicionales [1].

Actualmente se clasifican los entornos virtuales en tres categorías denominadas RV no inmersiva, semi-inmersiva e inmersiva. La primera de ellas consiste en la interacción con computadoras o dispositivos móviles que permiten la participación del usuario a través del teclado y/o dispositivos señaladores. La segunda se presenta a través del uso de lentes de visión estereoscópica que en conjunto con un dispositivo móvil, se representa un entorno virtual dando al usuario una interacción físicamente más aproximada a la realidad, como lo es el caso de estudio de este artículo. Por último, la realidad inmersiva se presenta mediante el uso de cascos de visualización estereoscópica más avanzados que hacen uso de material auditivo, sensores de movimiento, accesorios manuales y simuladores ambientales que desconectan al usuario totalmente de su realidad [5].

Durante la permanencia en el desarrollo académico de Ingeniería de Sistemas y Computación e Ingeniería Civil de la Universidad del Quindío, se aprecia una dificultad latente en los estudiantes al enfrentarse a la materia de cálculo multivariado y vectorial, debido a su complejo contenido matemático y/o la falta de desarrollo en la inteligencia espacial del alumno [4], [6]. Para lograr que ellos tengan una visión de cada dimensión (alto, largo y profundo) en un tablero, el profesorado utiliza varios medios como reglas, marcadores de varios colores o tableros complementarios, pese a estos esfuerzos no es posible representar de manera adecuada los objetos 3D ya que se hace uso de una herramienta en dos dimensiones para describir gráficos de naturaleza tridimensional [22]. Este

fenómeno trae consigo consecuencias graves como, bajas notas y repitencia académica [21].

De esta manera surge la necesidad de crear medios más efectivos para ayudar en el proceso de aprendizaje de esta asignatura. Este proyecto tiene como objetivo diseñar, implementar y validar un prototipo que sirva para el aprendizaje de este espacio académico, utilizando modelaciones en tres dimensiones que, gracias al entorno ofrecido por la RV, permitan al estudiante visualizar conceptos abstractos, principios matemáticos y fenómenos espaciales con interacción casi real, con objetos que cuentan con los atributos tridimensionales difícilmente perceptibles en un libro o una pantalla.

Este artículo se presenta de la siguiente manera: un estado del arte con trabajos relacionados que sirvieron de base para la investigación, la metodología ejecutada con sus respectivas partes, dividida ésta en el diseño del ambiente virtual, objetos virtuales, componentes *hardware* y el escenario propuesto para el entorno. Los resultados de las intervenciones con los grupos de Ingeniería Civil e Ingeniería de Sistemas y Computación. Finalmente se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

Estado del arte

La tecnología juega un papel fundamental en la educación, donde la enseñanza convencional se ve obligada a buscar nuevas alternativas para adaptarse y permitir una evolución adecuada que satisfaga los procesos de aprendizaje/enseñanza. En este contexto, se han implementado varias tecnologías como la tele presencia, en donde se crea un ambiente virtual que permite trabajar con contenido digital orientado a la enseñanza de cálculo multivariado y vectorial, siendo de apoyo a la pedagogía de los docentes. Los ambientes virtuales colaborativos en cursos de matemáticas para ingeniería soportados por redes de alta velocidad, permite a los profesores introducir cursos en tiempo real a estudiantes en otras instituciones simulando el ambiente de una clase presencial [7]. La aceptación por parte del docente en el uso de estas tecnologías como herramienta didáctica, potencializa el alcance del proceso pedagógico, donde deben interactuar con contenidos digitales que sirven como soporte para que sus estudiantes interactúen con ellos, aprender de igual forma como si hubiesen asistido a las aulas [13], [18].

Se ha medido el impacto de las nuevas tecnologías en el medio educativo, evaluando empíricamente el grado de aprendizaje de estudiantes de colegio por medio de dos canales de enseñanza. El primero es el tradicional portal web con su contenido digital en forma de texto, imágenes y video; el segundo presenta

un ambiente de RV ofreciendo una visualización e interacción más enriquecida, donde se le solicita al estudiante que explore el ambiente y ejecute acciones de acuerdo al contenido. Estos dos mecanismos fueron proporcionados al mismo estudiante, realizando una pre y post evaluación para así medir su avance. Se determinó que el ambiente de RV potencializa la enseñanza y agrega un factor motivacional acertado para esta comunidad [3].

Al segmentar la edad de los posibles usuarios del prototipo, se encontraron investigaciones realizadas en los años 2013 y 2014 usando la RV en la formación de adultos. En ellas se evidencia mejora del aprendizaje debido a la interacción casi real que se da con cada uno de los objetos y escenas. También es importante resaltar que hasta el momento no existen referencias de estudios realizados en niños menores de 10 años, ya que para mayores el uso debe ser limitado para no interferir en su desarrollo cognitivo [10], [14]. Teniendo en cuenta lo anterior, en este proyecto se involucraron estudiantes universitarios con edades entre 17 y 25 años.

Algunos casos de éxito en el mundo evidencian cómo la RV tiene un impacto positivo cuando se involucra en los procesos de enseñanza/aprendizaje, para diversos escenarios y temas. Un ejemplo es el caso en el que se implementa un ambiente virtual para entrenar personas cuya vocación laboral tiene que ver con la conducción y operación de una grúa para construcción, esta permite a los participantes tener prácticas fuera del aula, pero con una recreación realista del ambiente al que se enfrentarán en la vida real [19], [9]. También es el caso del proyecto REVRLaw (Real and Virtual Reality Law), donde se ha dispuesto un ambiente virtual que emula un caso de acusación sobre un crimen. Aquí los alumnos de leyes se encuentran con piezas de evidencias y distintos escenarios, que les ayuda definir si el asesino es o no culpable. Con esta técnica se busca que los estudiantes adquieran una percepción adicional que afine su preparación en el campo de leyes para afrontar de una mejor manera un caso criminal [16]. Otro caso se centra en el desarrollo de un sistema mecánico de entrenamiento con la ayuda de la RV inmersiva para crear un ambiente de práctica para cirujanos cardiovasculares novatos. La comunicación interauricular es una enfermedad cardíaca congénita grave y con este proyecto se buscó afianzar la preparación de los cirujanos para el procedimiento respectivo [12].

Metodología

Para llevar a cabo este proyecto fue necesario contar con una planeación que tuviera en cuenta puntos clave como el *software* necesario para el desarrollo, tecnologías para implementarlo en las pruebas de campo, contenido mate-

mático específico del cálculo multivariado y vectorial que presenta dificultad para los estudiantes y cuya relevancia gráfica sea acorde a los objetivos del proyecto. También fue necesario identificar el *hardware* requerido por las máquinas que servirían para llevar a cabo el desarrollo del prototipo, al igual que los requerimientos mínimos de los dispositivos móviles que pueden soportar su implementación. Teniendo en cuenta lo anterior, se definen los siguientes componentes básicos:

Componentes básicos

- *Desde el punto de vista del software ambiente virtual y los objetos.* El ambiente o entorno virtual, es en el que el usuario se sumerge, traslada, interactúa y tiene la sensación de estar realmente. Es generado por la plataforma Unity 3D [20] y es donde se programan materiales, texturas, colores, distancias y fuerzas físicas. Con Unity 3D también se genera el Character Controller; un objeto virtual encargado de controlar al personaje que da vista del usuario (por ello contiene las dos cámaras generadoras de la visión estereoscópica). Los objetos virtuales son generados por medio de la plataforma Blender [2] donde no solo se modelan, sino que también se animan con la capacidad de cambiar tamaño, forma y lugar.
- *Desde el punto del hardware existen tres componentes.* Los visores RV *Cardboard*, el control y el dispositivo móvil. El *Cardboard* es el encargado de dar sensación de profundidad y de delimitar la visión para cada ojo del usuario. Hoy en día existen diversas marcas y tipo de visores, no obstante, para el proyecto no se tienen consideraciones específicas para el *Cardboard* a usar. El control *joystick bluetooth* se usa para dar movimiento de traslación y de salto en el ambiente virtual al *Character Controller*. El dispositivo móvil o *smartphone*, por medio del giroscopio, es el encargado de sincronizar la visión del *Character Controller* con la inclinación de la cabeza hacia donde observe el usuario.

El prototipo *software* desarrollado presenta la parte gráfica de los conceptos matemáticos de la manera más detallada posible, de forma tal que el estudiante pueda percibir intersecciones entre sólidos, regiones acotadas, sólidos en revolución, composición de octantes en el espacio y generación de figuras tridimensionales a partir de trazas vistas en geometría en dos dimensiones. La resolución de ecuaciones nunca fue objetivo del proyecto (actualmente existen variedad de plataformas que brindan este servicio).

Como mecanismo de validación del prototipo se llevaron a cabo una serie de intervenciones en cursos de cálculo vectorial y multivariado con estudiantes de Ingeniería Civil e Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del

Quindío; con la participación activa de los docentes se modelaron objetos que representan los conceptos que a consideración de ellos, presentaban dificultad para el entendimiento por parte de sus estudiantes. De esta manera la dinámica pedagógica preestablecida al abordar a los estudiantes, permite aprovechar el contenido del entorno virtual.

Las pruebas consistieron en reunir pequeños grupos de estudiantes que debían resolver un taller, apoyados en la visualización de los objetos en el ambiente virtual, lo que les permitiría comprender de manera más gráfica lo que las ecuaciones matemáticas trazan. Una vez terminado el taller, se continuó con una encuesta de Likert diseñada para medir el grado de conformidad del encuestado, mediante el uso de 12 afirmaciones calificadas en una escala del 1 (totalmente en desacuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo), que conduce al estudiante a plasmar su opinión sobre su experiencia con el prototipo.

Los resultados de las encuestas fueron sometidas a un análisis usando la técnica del *coeficiente alfa* de Cronbach, que para este caso de estudio permite medir la fiabilidad o consistencia de las respuestas dadas por los estudiantes. Este análisis es fundamental para identificar los puntos débiles de la interacción con el prototipo.

Diseño del entorno virtual

Actualmente el mercado tecnológico ofrece varias plataformas para desarrollo de juegos para sistemas Android, iOS, Windows Phone, entre otros. De igual forma, se encuentran muchos programas para modelar objetos tridimensionales en entornos virtuales como son 3DS Max, Autodesk 123D, 3D Slash, Blender. Dados los parámetros de diseño pensados para la implementación del prototipo, se optó por usar Unity 3D [20]; un motor para el diseño de juegos en formato 2D y 3D multiplataforma con distribución gratuita, en complemento de Blender [2] un programa de código abierto que permite el modelamiento de objetos 3D. Ambas plataformas presentan compatibilidad entre sus extensiones, permitiendo unir el ambiente virtual con los objetos producto de ecuaciones matemáticas propuestas por los docentes.

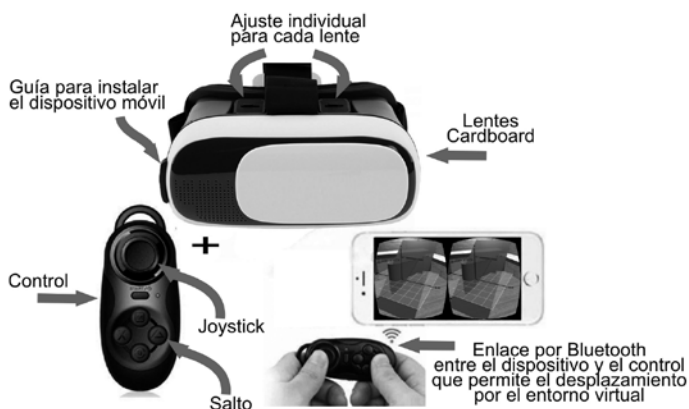
Unity 3D posee paquetes preestablecidos que permiten la visualización estereoscópica necesaria para la tecnología de RV a través de las gafas, también conocidas como *cardboard*. De igual forma entrega facilidad de comunicación con accesorios de juego como controles *bluetooth*, necesarios para llevar a cabo el desplazamiento por el entorno virtual.

El prototipo 3D es desplegado en dispositivos móviles con sistema operativo Android, a partir de la versión 2.3.1 (*Gingerbread*). Para la ejecución completa

del prototipo se requieren dispositivos *cardboard* (gafas estereoscópicas de bajo costo).

La Fig. 1 presenta el *hardware* requerido para hacer uso del prototipo. Es necesario instalar la aplicación en el dispositivo móvil, posteriormente vincular el control mediante enlace *bluetooth* con el móvil y por último integrarlo a los lentes de visión estereoscópica.

Fig. 1
Equipo necesario para usar el prototipo en el entorno virtual



Escenario propuesto para el entorno

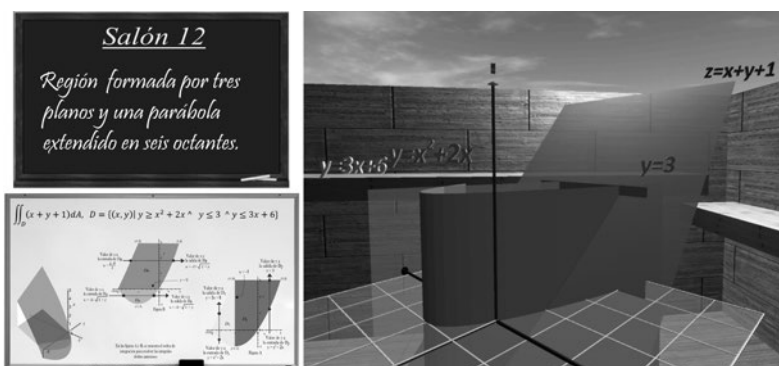
Una vez establecidos los parámetros de desarrollo para el prototipo, se implementó el ambiente virtual y los objetos tridimensionales. Para el entorno se ha empleado una metáfora de salones de clase como se muestra en la Fig. 2; en la entrada de cada salón se ubicó un anuncio tipo cartel con una breve descripción de lo que se encuentra en el interior; una vez dentro del salón se presenta un tablero (como los utilizados en cualquier salón de clase) con una gráfica que representa el objeto tridimensional tal como un docente de cálculo lo dibuja. Simultáneamente, el estudiante tiene a su lado un objeto 3D animado que muestra exactamente lo descrito en el tablero. De esta manera permite apreciar de principio a fin la composición del objeto. La animación se repite ininterrumpidamente para que el estudiante tenga tiempo de observarlo desde diferentes perspectivas, lo que no se logra en el papel.

Las animaciones se diseñaron de tal manera que el estudiante pudiera visualizar la creación de los objetos desde su representación 2D en un plano y cómo sus generatrices se proyectan paralelamente en el tercer eje. Por ejemplo, la ecuación $y = x^2 + 2x$ genera una parábola alargada y desplazada en el plano xy con generatrices paralelas al eje z como se ve en la Fig. 2. De esta manera la

animación comenzará dibujando la parábola en el plano xy acompañada por su ecuación, después se observa cómo la directriz se alarga en el eje z. Finalmente termina con el objeto resultante al intersectar las diferentes figuras propuestas en el ejercicio. Para complementar las perspectivas de visualización, se cuenta con una serie de rampas que permiten observar el objeto desde la parte superior.

Fig. 2

Contenido de un salón del entorno virtual



Los contenidos se encuentran dispuestos en pocas escenas con la finalidad de mantener simpleza en el diseño y no comprometer al usuario con funciones complejas para la navegación (ver Fig. 3). Se tuvo especial cuidado en la iluminación y recreación usando un ambiente con texturas suaves, con el objetivo de prevenir irritaciones visuales, mareos u otra clase de molestia por parte del usuario.

Fig. 3

Disposición de salones para el entorno virtual



Para la elaboración de los objetos tridimensionales se trabajó en conjunto con los docentes del área de Cálculo Multivariado y Vectorial, con el fin de identificar los temas con mayor grado de dificultad de entendimiento, según su experiencia de enseñanza. La guía del docente sigue siendo fundamental para dar claridad sobre los diferentes conceptos descritos en el ambiente virtual y según el tema que se encuentre enseñando.

Gracias a la plataforma Blender [2] que permite la introducción de ecuaciones matemáticas, se pueden generar objetos muy precisos en sus trazas y con alto grado de confiabilidad sobre el resultado.

Finalmente se diseñó un cuestionario tipo Likert con el propósito de preguntarle a los estudiantes, una vez finalizada la experiencia con el uso del ambiente 3D mediante *smartphones* y *cardboards*, sobre el uso del aplicativo, la utilidad del mismo respecto al contexto del curso de Cálculo Vectorial y eventuales afectaciones derivadas del uso de las *cardboards* (ejemplo: mareo, vértigo, irritación en los ojos).

Resultados

A continuación, se presentan los resultados para las encuestas de 12 preguntas (Véase Tabla 1) realizadas a 50 estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación e Ingeniería Civil, pertenecientes a la Universidad del Quindío, después de haber interactuado con el prototipo.

Tabla 1
Preguntas likert aplicadas a los estudiantes

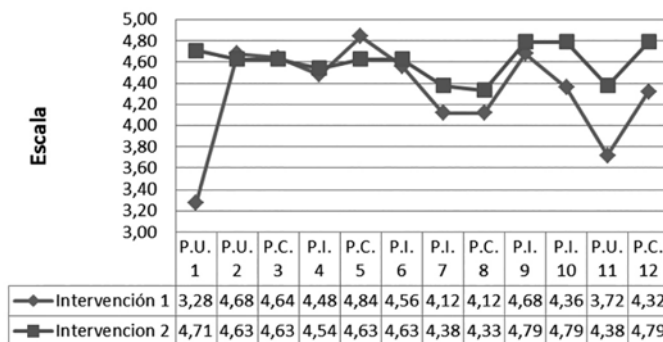
Categoría	Ítem	Pregunta
Uso	PU. 1	La experiencia con el entorno no produce mareo, vértigo u otra sensación.
	PU. 2	La interacción con la aplicación se presenta de forma intuitiva.
	PU. 11	La navegación por los escenarios virtuales se presentó de manera cómoda.
Utilidad del contenido	PC. 3	Los objetos tridimensionales contenidos en los escenarios le son de ayuda para contextualizar la enseñanza teórica
	PC. 5	La aplicación facilita el entendimiento sobre los modelos tridimensionales
	PC. 8	Es posible visualizar las trazas de cada sólido propuesto
	PC. 12	Los objetos tridimensionales son representaciones exactas de las ecuaciones propuestas

Categoría	Ítem	Pregunta
Impacto del aplicativo	PI. 4	Eventualmente usaría la aplicación para reforzar su conocimiento sobre el cálculo vectorial
	PI. 6	La aplicación contribuye al desarrollo del entendimiento espacial
	PI. 7	Las animaciones de los sólidos son de más ayuda que si se presentasen sin movimiento
	PI. 9	Recomendaría la aplicación a estudiantes de cálculo vectorial
	PI. 10	La gráfica del sólido en el tablero complementa su entendimiento sobre el objeto tridimensional

Por cada grupo se realizaron dos intervenciones; la primera consistió en mostrar los aspectos básicos del Cálculo Vectorial como la conformación de las superficies cuádricas y posicionamiento de los octantes. La segunda prueba tomó los conceptos de integrales dobles y triples para el cálculo de volúmenes y áreas.

Fig. 4

Promedios de calificaciones Likert para el grupo de ingeniería de sistemas y computación en ambas intervenciones



En los resultados se observa un alto grado de aprobación según la experiencia que tuvo el usuario al interactuar con el ambiente virtual, tal como lo muestra la Fig. 4. Para la segunda intervención se obtuvo una mejora significativa en las preguntas PU1 y PU11.

Como se puede visualizar en la Fig. 5. Existe una homogeneidad en los puntajes para ambas intervenciones, siendo ambas positivas para el objetivo de las pruebas de campo.

Fig. 5
Promedios de calificaciones Likert para el grupo de Ingeniería Civil
en ambas intervenciones

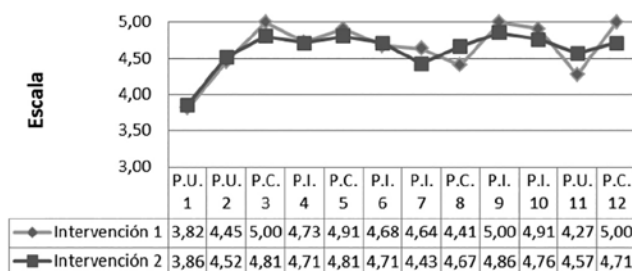
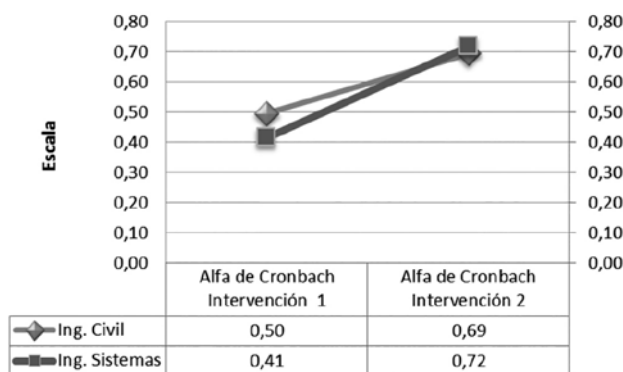


Fig. 6
Alfa de Cronbach intervenciones en Ingeniería de Sistemas
y Computación e Ingeniería Civil



El alfa para la intervención 1 de Ingeniería de Sistemas, presentó la puntuación más baja de las cuatro realizadas como se puede ver en Fig. 6, debido a la calificación dada a la pregunta número 1 referente a las sensaciones de vértigo y mareo experimentados por parte de los estudiantes. Revisando en detalle por qué los estudiantes estaban experimentando estas sensaciones, se identificaron cuatro factores principales:

- Debido al tipo de dispositivo móvil con el que realizaron la interacción, ya que algunos no contaban con los requerimientos técnicos mínimos, se presentó un problema de rendimiento del dispositivo, lo que ocasionó que la fluidez de las animaciones del entorno virtual se mostrase de manera pausada y errática.
- A medida que el contenido gráfico (texturas y animaciones) se depuraba y enriquecía, se tornaban -visualmente- más cargados los escenarios, cambiando de objetos estáticos a un contenido que en casi su totalidad es animado.

- Adaptabilidad del usuario, la gran mayoría de estudiantes intervenidos no habían interactuado con tecnología RV, por lo que se puede relacionar que la falta de adaptación al dispositivo causa incomodidad, usándolos por periodos continuos de 10 a 20 minutos, según lo observado en varios estudiantes afectados.
- Limitaciones físicas, se lograron identificar algunos problemas auditivos y visuales intrínsecos a los estudiantes, que generaron experiencias negativas y que son ajenas al uso del prototipo.

A pesar de estos inconvenientes, la retroalimentación recibida en cuanto al objetivo de las intervenciones, fue positiva por parte de los estudiantes y el docente. Ellos aceptaron que el desarrollo de la actividad se pudo llevar a cabo de una forma más sencilla y rápida en comparación con los métodos tradicionales de enseñanza para los mismos conceptos.

Para la segunda intervención se implementaron mejoras de acuerdo a los factores descritos anteriormente:

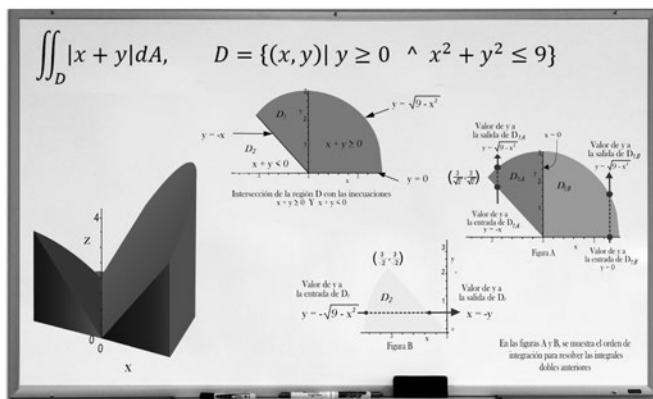
- Para optimizar el rendimiento del *smartphone* se activaron las animaciones solo en el momento en que el estudiante ingresa al salón virtual, evitando así renderizaciones innecesarias.
- Para disminuir la saturación del contenido gráfico se cambiaron las texturas del piso y las paredes virtuales, optando por el uso de tonos suaves.
- La adaptabilidad fue corregida sin intervención, ya que los estudiantes contaban con la experiencia anterior y se encontraban más familiarizados tanto con el entorno virtual como con las *cardboard*.
- Para las limitaciones físicas de algunos estudiantes se les recomendó hacer uso de las *cardboard* por un lapso no mayor a cinco minutos continuos.

En esta segunda intervención, y después de implementar las mejoras, los estudiantes usaron la herramienta por periodos de tiempo continuos más largos sin incomodidades (superiores a 30 minutos). Igualmente se creó nuevo contenido con conceptos de más alta complejidad. En la Fig. 7. se observan algunos estudiantes interactuando con el aplicativo, desarrollando la actividad propuesta por el docente del curso, la cual fue modelada en los salones virtuales de manera que el estudiante resolviera los ejercicios de una forma más fácil. En la Fig. 8 se presenta un ejemplo del contenido agregado para esta intervención, mostrando conceptos matemáticos más elaborados.

Fig. 7
Estudiantes haciendo uso del prototipo en el aula de clase



Fig. 8
Nuevo contenido del tablero virtual para la segunda intervención



Conclusiones y trabajo futuro

Teniendo en cuenta las facilidades suministradas por tecnologías tipo *smartphone* y *cardboards* (con su respectivo crecimiento a nivel de uso), y los retos asociados a la generación de estrategias didácticas que empleen esta clase de dispositivos, se debe generar nuevas alternativas para que los estudiantes interioricen los conocimientos de una manera significativa. En búsqueda de estas alternativas, se encuentran con medios tecnológicos e innovadores cada vez más asertivos. Es así como la RV semi-inmersiva puede involucrarse en el cumplimiento de los objetivos del proceso pedagógico.

En la presente propuesta, las animaciones se convierten en un aspecto importante para comprender cómo la intersección, diferencia o unión de sólidos forman otros. Igualmente, cómo componentes de un objeto en 3D se proyectan en los diferentes ejes permitiendo visualizar fácilmente su directriz. La animación es imposible de incorporar a figuras dibujadas en un tablero.

Una ventaja que se observa es que los teléfonos móviles, con más y mejores recursos gráficos y de sensores (acelerómetro-giroscopio), son cada vez más accesibles por las personas. Debido a que no se contaban con suficientes equipos para tener una experiencia individual, para esta investigación, se organizaron grupos de trabajo de 5 o 6 estudiantes compartiendo un solo *cardboard* y sus propios teléfonos celulares. Sin embargo, se cree que en un futuro cercano será más fácil su implementación a bajo costo en los centros educativos.

Como se esperaba, el uso de la tecnología de RV proporciona una nueva forma de aprendizaje innovadora y llamativa para los estudiantes, lo cual se evidencia con los resultados de la encuesta que tienen que ver con su atención e interés (Fig. 4. y Fig. 5.). Adicional a lo anterior se evidencia que la herramienta RV crea un espacio pedagógico de diálogo, discusión y debate entre los estudiantes y el docente; ésta interacción social entre los involucrados es un componente deseable para cualquier ambiente de aprendizaje. De aquí también se desprende que la importancia del acompañamiento del docente sigue siendo fundamental para el proceso cognoscitivo: las dudas frente a lo visualizado en el ambiente virtual y/o animaciones deben seguir siendo aclaradas por un profesional del tema.

Este prototipo puede llegar a convertirse en un recurso importante para apoyar el objetivo de los docentes de las asignaturas de matemáticas en donde se requiera visualizar efectivamente gráficos y figuras en dos o tres dimensiones. Puede ser incorporado como un medio permanente en el curso independientemente de la carrera en la cual se imparta. Para ello se debe contar con la integración de un equipo de trabajo interdisciplinario compuesto principalmente de un desarrollador, diseñador gráfico, pedagogos y profesionales en educación matemática.

Y de esta manera desarrollar una herramienta que cubra todos los aspectos que un producto pedagógico, metodológico y técnico requiere, en conjunto con una estrategia de enseñanza adecuada al ambiente educativo donde se use.

Este prototipo en RV puede desarrollarse para ser adaptado a otras áreas de la educación, tanto básica como superior. Campos como la medicina, anatomía, arquitectura, obras civiles son candidatos para que partes de su currículo cuenten con ambiente de enseñanza virtual. Ambientes hostiles, que presenten algún riesgo para los humanos, de contagio de enfermedades y entrenamiento en lugares de difícil acceso son escenarios ideales para ser tratados con las ventajas ofrecidas por la tecnología RV.

Para aumentar el impacto realista de los ambientes virtuales se podrían incorporar al prototipo contenido en audio que sirva de guía por el entorno, así como también para la aclaración de conceptos; contar con guantes de RV que posibiliten una interacción más cercana a la realidad ya que permitirían tomar los objetos virtuales y manipularlos a voluntad. Estas mejoras podrían entregar una experiencia totalmente inmersiva.

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Quindío (Colombia) por el apoyo al proyecto mediante la modalidad de Semilleros de Investigación Fase III 2017-I. Los autores también agradecen a los licenciados Lina Marcela Ocampo, Carlos Alberto Abello y Adrián Alonso Arboleda, por sus contribuciones conceptuales para el desarrollo de los contenidos de Cálculo Multivariado y Vectorial, y la validación de estos en el espacio de aula.

Referencias

- [1] Ai-Lim, Wai & Fung, (2010). How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach. *Computers & Education*. *Computers & Education*, Volume 55, Issue 4, Diciembre 2010, Pag 1424-1442.
- [2] Blender (Versión 2.78) [Software]. (2002). Ámsterdam, Países Bajos: Fundación Blender.
- [3] Chalil Madathil, K., Frady, K., Gramopadhye, A., Bertrand, J., Hartley, R. (2016). Integrating case studies in an online asynchronous learning environment: an empirical study to evaluate the effect on community college student learning outcomes and engagement when case studies are presented using virtual reality. Conference paper presented at Presented

- at the American Society for Engineering Education (ASEE) Conference & exposition. June 2016 in New Orleans, LA.
- [4] Costa V.A, Landerreche F, Colman Lerner, J. (2013). El cálculo vectorial en la formación del ingeniero. Una perspectiva de alumnos de los últimos años de las carreras: Aeronáutica y Civil. Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
 - [5] Cruz Morales, MA*, Morales Cárdenas, AO, Ayala Ruiz A. (2006). Diseño de productos asistidos por Realidad Virtual inmersiva. *Grupo Celanese, S.A., Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNAM.
 - [6] Espinosa, J, MA. (2013). Desarrollo de la inteligencia espacial a partir de la utilización de software CAD en la enseñanza de la geometría descriptiva. (Spanish). *Revista Educación En Ingeniería*, 8(15), 38-47.
 - [7] Esteban Duarte, P, Trefftz Gómez, H., Restrepo, J., Giraldo Velásquez, F., Jiménez Rojas, Á., Giraldo Muñoz, A., Peñalosa, C., Restrepo, A., Rojas Flórez, L., Lamprea, J., & Pelaéz López, D. (2009). Ambientes virtuales colaborativos en cursos de matemáticas para ingeniería soportados por redes de alta velocidad. *Revista Educación en ingeniería*, 4(8), 13-25.
 - [8] Fallman D, Backman A, Holmlund K. (1999). VR in education: An introduction to multisensory constructivist learning environments. Paper presented at the Universitetspedagogisk konferens; Umea universitet.
 - [9] Flores Cruz, J.A; Camarena Gallardo, P; Avalos Villarreal, E; (2014). La Realidad Virtual, una tecnología innovadora aplicable al proceso de enseñanza de los estudiantes de ingeniería. *Apertura*, Octubre-2014, 1-10.
 - [10] Freina L, Ott M. (2015). A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives. Abril 2015. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/280566372_A_Literature_Review_on_Immersive_Virtual_Reality_in_Education_State_Of_The_Art_and_Perspectives
 - [11] González Sanchez J, Chavez Echeagaray ME, VanLehn, W K. (2011). From Behavioral Description to A Pattern-Based Model for Intelligent Tutoring Systems Tomado de: Bursleson.<http://hillside.net/plop/2011/papers/E-27-Sanchez.pdf>
 - [12] Guan-Chun Chen, Chia-Hung Lin, Chien-Ming Li, Kai-Shen Hsieh, Yi-Chun Du, Tainsong Chen. (2016). Virtual-reality simulator system for

double interventional cardiac catheterization using haptic force producer with visual feedback. *Computers & Electrical Engineering*. Julio 2016. (s.n).

- [13] Hennig Manzuoli, C. (2014). Percepción de los profesores frente a su rol en entornos digitales de aprendizaje en algunas Instituciones en Bogotá, Colombia. [online] Tesisenred.net. Recuperado de <http://www.tesisenred.net/handle/10803/286069?show=full>.
- [14] Herrero, P. (2012). Ventajas e inconvenientes del aprendizaje a través de las TIC en Educación primaria
- [15] Kirner C, Gonçalves Kirner T & Shneider Cerqueira C. (2012). Using Augmented Reality Artifacts in Education and Cognitive Rehabilitation. Brasil. Septiembre 2012 (s.n)
- [16] Mentzelopoulos, M., Parrish, J, Kathrani, P. and Economou, D. (2016) Immersive Learning Research Network. In: Immersive Learning Research Network: Volume 621 of the series Communications in Computer and Information Science. Springer, Santa Barbara, CA, USA, June 27 – July 1, 2016, pp. 73-84. ISBN 978331941769
- [17] Morón, J. L. (2013). Estrategias metodológicas para introducir las TIC y el Internet en matemáticas. (s.n)
- [18] Pérez Lance, G., & Addati, G. A. (2013). Tecnologías Ubicuas. (Spanish). Documentos De Trabajo, (531), 1-17. (s.n)
- [19] Sang, Y., Zhu, Y., Zhao, H. & Tanh, M. (2016). Study on an Interactive Truck Crane Simulation Platform Based on Virtual Reality Tecnology. *International Journal of Distance Education Technologies*, v14 n2 p64-78 Recuperado de: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1098936>.
- [20] Unity3D (Versión 5.3.5) [Software]. (2005). San Francisco, California. Obtenido de, <https://store.unity.com/es/configure-plan/unity-pro>
- [21] Velásquez, A. F., & Ramírez, E. A. L. (2010). Una mirada crítica al papel de las TIC en la educación superior en Colombia. *E-mail Educativo*, 1(1).
- [22] Zúñiga, L. (2007). El cálculo en carreras de ingeniería: un estudio cognitivo. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 10(1), 145-175. Recuperado en 25 de marzo de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-24362007000100007&lng=es&tlng=es.

(SUBMISSION 4)

Modelo de robot educativo en dos ambientes de construcción

PEDRO FONSECA SOLANO
IRENE HERNÁNDEZ RUIZ
*Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica*

Resumen

Este trabajo pretende presentar la experiencia de la construcción de un modelo de robot en un entorno físico y en un entorno digital, en el marco del proyecto Formación de formadores en robótica para colegios en áreas vulnerables de Costa Rica. Además de capturar los resultados obtenidos por los participantes durante el proceso, para lo cual utilizamos las mejores prácticas de gamificación y la metodología de aprender haciendo.

Palabras clave: lego EV3, lego digital designer, modelo, sensores.

Introducción

La gamificación es la aplicación de mecánicas y dinámicas de juego en ámbitos que normalmente no son lúdicos [1]. Esta puede lograr que las personas se involucren, motiven, concentren y se esfuercen en participar en actividades que antes se podrían clasificar como *aburridas*, pero que con la gamificación pueden convertirse en creativas e innovadoras [2].

Por otra parte, la metodología de “aprender haciendo”, consiste en un modelo en el que el estudiante, mediante dinámicas y simulaciones, construye metáforas

de la vida real junto al docente, quien en la práctica construye el aprendizaje junto al alumno [3].

Algunos casos acerca de ejemplificaciones en el uso de la robótica en América Latina son: Mundo robótica; una plataforma en la aplicación de la robótica en la educación. Se creó en 2008, en alianza con el Departamento de Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, con el objetivo de fomentar el uso de la robótica en el aula de clase como una herramienta de aprendizaje [4]. Otro caso, es el desarrollado por la Universidad de la República de Uruguay, con respecto a la Formación de Formadores en Robótica Educativa con Butiá, el cual tiene como objetivo incluir al robot Butiá en educación pública primaria y secundaria, para así poder introducir la programación de robots móviles [5].

De esta forma, en el marco del proyecto *Formación de formadores en robótica* para colegios en áreas vulnerables de Costa Rica, se consideró el uso de la metodología de “Aprender haciendo”, así como utilizar las mecánicas de juego para impartir los conocimientos acerca de la robótica [6], algunas de las mecánicas utilizadas son: retos, oportunidades, competición, cooperación, transacciones, turnos, puntos, niveles, entre otros [7].

Este proyecto, es una iniciativa de la Escuela de Informática de la Universidad Nacional y el Instituto Costarricense sobre Drogas (en adelante ICD), que se desarrolla también de forma conjunta con el Ministerio de Educación Pública de Costa Rica (en adelante MEP). Este proyecto tiene como objetivo principal capacitar a docentes en el uso de las TIC y fomentar el uso para el desarrollo de proyectos, permitiéndoles ocupar su tiempo fuera de clases. Este proyecto, ya capacitó a 72 docentes en 3 grupos de 12 docentes cada uno, y se brindó un aporte económico para dotar a cada colegio de 5 kits de robótica Lego EV3 y un computador.

La robótica, se basa en el *construccionismo*, el cual pretende que el individuo pueda crear un elemento fuera de su mente y que además tenga un significado personal para él. Ésta última pedagogía es en la que se basan muchos de los principales desarrollos en robótica educativa [8].

Durante las lecciones del curso de formación a docentes, se utilizaron diferentes modelos de robots haciendo uso del equipo LEGO EV3. Este kit de piezas LEGO permite la construcción de diferentes modelos de robots. Además, ofrece un lenguaje gráfico para programar modelos de robots contruidos mediante un conjunto de recursos gráficos (bloques), que permiten incorporar los conceptos y estructuras de programación de una manera muy intuitiva.

Por otra parte, es importante para los jóvenes incursionar en nuevos ámbitos de tecnología, que les permita conocer elementos nuevos en el área de programación y reforzar en ellos la importancia que tienen las tecnologías a nivel mundial. Por otra parte, motivarlos y fortalecer su confianza en la capacidad de lograr sus metas.

El presente trabajo quiere dar a conocer la descripción del curso de robótica, del experimento, de los ambientes de trabajo y del modelo de robot construido, y los resultados obtenidos al efectuar esta práctica.

Descripción del curso de robótica

Durante el curso se desarrollaron varios modelos de robots, sin embargo Lego Digital Designer (en adelante LDD) una herramienta de Lego Group que, debido a su flexibilidad y variedad por el acceso a todas las piezas de LEGO, es sugerida por la organización para que quienes no pueden adquirir o acceder al kit físico, creen cualquier modelo a partir de la aplicación. Así, permite desarrollar la creatividad de los docentes-participantes para la construcción de nuevos modelos. Uno de ellos es retomado en este proyecto para dar a conocer su resultado final y la percepción de los docentes durante su proceso de elaboración.

El Ladrillo Virtual de Mindstorms es una herramienta diseñada para ayudar a los educadores a enseñar matemáticas, habilidades de pensamiento computacional y programación a través de la simulación. El VirtualBrick es compatible con el ladrillo NXT-G, EV3, y LabVIEW para lenguajes de programación Lego Mindstorms. Por esta, razón es que se decidió hacer uso de esta herramienta.

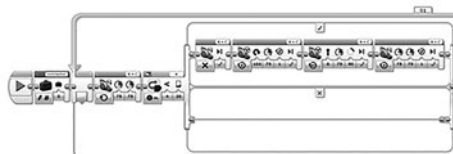
El curso se formuló para seis sesiones de ocho horas los días miércoles. Para cada una de ellas, se preparó un manual para inventario del equipo, un manual del reconocimiento de las piezas, un manual para la construcción del modelo 3MinuteBot (robot para principiantes), un manual para la construcción de tres garras o *gripper* (mecanismo para tomar piezas, sostenerlas y levantarlas por un tiempo determinado).

En cada clase, se construyó un modelo de robot diferente en el que cada pareja de docentes contó con su propio kit; construyó el robot y la correspondiente programación para su desempeño. En la construcción del mismo, el instructor del taller hizo las veces de facilitador, permitiendo que cada docente construyera de manera tranquila el modelo de robot y aprendiera los conceptos básicos de programación de una manera sencilla, agregando los conceptos de programación según fuese necesario para las tareas que le habían sido asignadas al robot según el modelo. Entre las actividades que se llevaron a cabo fueron: la programa-

ción de los sensores, desplazamiento del robot para moverse hacia la derecha, izquierda, adelante y hacia atrás. Para lograrlo, se programaron diferentes ciclos, y se trabajó con estructuras secuenciales ofrecidas la herramienta de LEGO. A continuación, se muestra un ejemplo de la programación realizada:

Fig. 1

Estructura de programación por bloques que presenta la herramienta de Lego



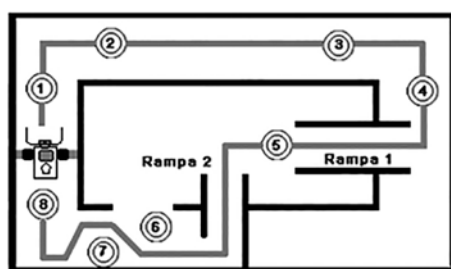
En la Fig.1 se plasma parte de la codificación necesaria para garantizar el movimiento del robot, y la funcionalidad de los sensores.

Posteriormente, los docentes participaron en competencias y retos, para los que se diseñaron diferentes pistas, donde los docentes lograron compartir e intercambiar con sus compañeros ideas para la solución de los problemas propuestos por los facilitadores del taller.

A continuación, se presenta el diseño de una pista de competencia generado para el taller:

Fig. 2

Pista de competencia del robot



En la Fig. 2, puede observarse en color café la ruta que debe seguir el robot, el cual debe partir desde la salida marcada con una franja de color verde, y pasar por el Punto 1, siguiendo por cada uno de los puntos en el recorrido hasta llegar al punto final: el Punto 8. En la figura anterior, puede observarse también que durante el recorrido el robot este debía subir una rampa y bajar otra hasta completar el recorrido y terminar la tarea, estos elementos debieron ser considerados por los docentes para que el robot pudiera cumplir con la tarea completa.

Descripción del experimento

Para la tercera clase, los docentes participantes ya tenían conocimiento sobre los principales componentes de un robot, así como sus estructuras principales de programación: entrada - salida, variables – ciclos, por ello se decidió evaluar su comportamiento en un reto establecido.

El reto consistió en la construcción de un modelo de robot con garra, haciendo uso de dos ambientes de trabajo un entorno físico con el Kit Lego Ev3 y otro con el ambiente de LDD, con un tiempo de ejecución de cuatro horas por cada ambiente, desarrollado en parejas seleccionadas según su colegio, para un total de 12 equipos, quienes compitieron entre sí para lograr el objetivo final.

Fue indispensable establecer tres roles en el equipo de coordinación, los cuales se presentan la Tabla 1 a continuación:

Tabla 1
Roles definidos para el experimento

Cantidad	Nombre del rol	Descripción del rol
1	Facilitador	Encargado general del experimento, conduce a los docentes en la construcción paso a paso del modelo a seguir, explica conceptos básicos necesarios para el modelo y atiende las consultas de los docentes.
1	Observador	Anota los comentarios de los docentes, pasa durante el experimento cerca de los docentes para consultarles cómo se sienten en el proceso.
2	Asistentes	Le indican al facilitador si alguno de los docentes tiene consultas, o bien le indica al facilitador que baje o aumente la velocidad de explicación de la construcción de los modelos.

Por otra parte, se trabajó utilizando las características de la gamificación de Kapp [9], para ello se presenta cada una de ellas y la forma como se aplicó en el experimento:

- **La base del juego (reto):** se refiere a la posibilidad de jugar, de aprender y la existencia de un reto que motive al juego. En este caso se trata de la construcción de un robot con garra y su desplazamiento en una pista.
- **Mecánica:** es la incorporación de niveles o premios en el juego, que generalmente son obtenidos por la persona. En el experimento, el recorrido primero es realizado en el suelo y posteriormente en una pista de madera para que el robot pueda tomar los objetos y obtener el premio: una pieza de Lego para el Kit.

- **Estética:** corresponde al uso de imágenes gratificantes a la vista del jugador. Para el experimento se usó la herramienta LDD para mostrar las partes del Lego; así como también se tiene el uso del Kit de Lego Ev3.
- **Idea del juego:** es el objetivo que pretendemos conseguir. Para nuestro caso, es la mecánica en que el facilitador le explique el modelo de robot que se desea construir a los docentes tanto en un ambiente físico y virtual; y el ganador es aquel que pueda realizar todo el recorrido de la pista y atrapar un obstáculo.
- **Conexión juego-jugador:** tiene como objetivo buscar un compromiso entre el jugador y el juego. En este sentido, se utiliza un ambiente tranquilo de trabajo para que los docentes puedan consultar y programar de acuerdo con su ritmo de aprendizaje.
- **Motivación:** la predisposición psicológica de la persona a participar en el juego es sin duda una de las potencialidades de Lego. Para ello el facilitador desde un inicio trata de explicar el reto de una manera sencilla, de tal manera que cause en los participantes deseos de continuar a lo largo del reto.

Por otra parte, los resultados de ambos experimentos son analizados tomando en cuenta las variables como: edad, género, área de especialidad.

Descripción de los ambientes

Ambiente digital

El ambiente digital utilizado fue LDD, este es un programa informático gratuito producido para LEGO GROUP, el cual permite a los usuarios construir modelos utilizando ladrillos LEGO virtuales para incorporar los conceptos diseño y construcción del modelo en 3D. A continuación, se muestra una imagen de la construcción del robot:

Fig. 3
Modelo de robot construido



En este ambiente puede observarse paso a paso la construcción del robot, así como las piezas al lado izquierdo que se requieren para la construcción del modelo de robot. Esto le permite tener una guía exacta del lugar donde se debe colocar la pieza necesaria en cada una de las etapas de construcción.

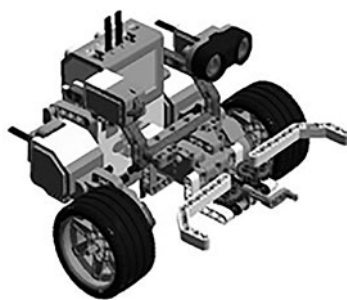
Ambiente físico

El ambiente físico fue el KIT LEGO MINDSTORM EV3 45544, de 541 piezas que permiten la construcción de diferentes modelos de robot, entre ellas vigas, uniones y conectores, así como llantas, motores y sensores, empleados según la creatividad y funcionalidad que se desee realizar del modelo de robot.

Descripción del modelo de robot construido

El modelo de robot diseñado se denomina “3MinuteBot con garra”; compuesto por tres motores, dos de ellos para impulsar las llantas y el otro para el mecanismo de la garra para atrapar objetos. Además, cuenta con un sensor ultrasónico para detectar objetos cercanos a él y un sensor de tacto que al presionarse tres veces, se detiene. A continuación, se muestra una ilustración del modelo de robot construido en la herramienta LDD, el mismo tiene al frente una manivela para probar el movimiento de la garra, ya que al tratarse de un motor mediano la rotación es vertical y solo se puede probar mediante activación del motor:

Fig. 4
Modelo de robot construido



Luego de concluir la tarea de la construcción, se programa cada uno de los componentes construidos: sensor ultrasónico, de tacto, el motor para la garra y el control sobre los motores para el movimiento del robot. Para ello fueron programados bloques de control, así como la inicialización de las variables correspondientes (Fig. 1.) La tarea fundamental de este robot es atrapar un vaso en el momento que sea detectado con el sensor ultrasónico, girar hacia la derecha o izquierda, seguir el recorrido presentado en la Fig. 2 (que representa

un recorrido de un circuito). En el momento que el robot pase por todos los puntos, finaliza la tarea.

Descripción de la población y pruebas realizadas

El desarrollo de la actividad de construcción del modelo de robot, tanto el ambiente digital como en físico, estuvo conformado por una población total de 25 docentes, los cuales se distribuyeron de la siguiente manera: 15 mujeres (60 % del total de la población) y 9 hombres, (representando el 40 % restante), el promedio de edades de la población es de 35 años. Esta población tiene un área de formación profesional diversa, ciencias (matemáticas, informática) y el área de letras (idiomas, psicología, estudios sociales, letras).

Pruebas realizadas

Cada uno de los grupos de docentes, logró montar el robot en los dos ambientes de desarrollo (físico y digital). Además, ellos probaron el robot en el entorno físico al menos tres veces cada uno para asegurarse de que su programación era la correcta.

Resultados

Por parte del observador

El rol de observador dentro del experimento es muy importante, ya que él puede visualizar de una manera más natural el comportamiento de los docentes, así como su interacción dentro del ambiente del experimento. Algunos de los resultados por parte del observador son:

- Los docentes llevaron a cabo ambos ejercicios en el mismo tiempo establecido para la construcción de ambos modelos.
- La construcción física fue bastante rápida en comparación con la parte virtual.
- Al inicio los docentes se sintieron más cómodos en la construcción de la parte física que con la virtual. Sin embargo, al momento de conocer la parte virtual, a ellos les gustó más.
- Durante el experimento todos los docentes fueron atendidos por el facilitador gracias al apoyo de los asistentes del proyecto.

- Todos los grupos lograron terminar ambas construcciones tanto la física como la virtual.
- Los docentes en general se sintieron muy satisfechos por haber logrado ambas construcciones.
- Los docentes se divirtieron al momento de aprender la parte de programación.
- Todos participantes lograron terminar el reto propuesto.
- Por otra parte, el observador pudo identificar la diferencia en tiempo que dura cuando el docente utiliza o no la herramienta LDD. Cuando el docente utiliza solo la construcción física tarda al menos 30 minutos más en la construcción de un modelo similar, y cuando utiliza una herramienta como está el docente dura menos tiempo.
- Por otra parte, los docentes manifiestan durante las conversaciones entre los compañeros que se sienten más confiados cuando utilizan la herramienta porque les permite ir a su ritmo y poder retroceder tienen alguna consulta.

Resultados de la evaluación

La información, recolectada permitió el análisis de las variables *género*, *área profesional* y *edad* (ciencias o letras). A continuación, se presenta una justificación de la importancia de analizar los resultados en estas tres variables:

- **Variable # 1 Género:** existen a nivel mundial estereotipos acerca de las mujeres en el estudio del campo de las tecnologías de información. En las universidades la población femenina en el estudio de las ingenierías es baja, ya que pocas muestras interés en ellas. Sin embargo, muchos de estos centros educativos realizan actividades para promover entre las mujeres el estudio de ingenierías, lo mismo ocurre a nivel nacional, donde en seminarios y/ congresos, la participación del género femenino es minoritaria.
- **Variable # 2 Área profesional:** otro estereotipo que existe actualmente, es que las carreras de ciencias y matemáticas son difíciles, lo que origina que muchas personas se matriculen en carreras relacionadas con las letras o las ciencias blandas. Es por esta razón, que se decidió analizar esta variable para conocer el comportamiento de aquellas personas que tienen como área profesional las ciencias o matemáticas y aquellas que no. Inclusive los datos de este trabajo corresponden en un 76 % a docentes que hayan estudiado estas áreas.

- **Variable # 3 Edad:** el último estereotipo es que a los jóvenes (recién graduados), tienen una mayor facilidad para aprender las nuevas TI, mientras que a las personas mayores de edad se les dificulta, ya que tienen un esquema mental diferente para abstraer conocimientos. Lo cual muestra que si hay oportunidades, interés y motivación de los participantes por los participantes de mayor edad, no existe ningún impedimento, ya que solo interviene el esfuerzo individual y persona.

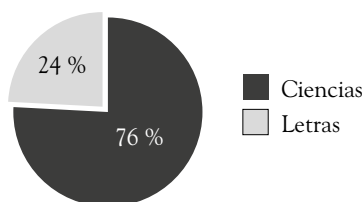
Al finalizar el experimento fue aplicada una encuesta a los docentes, cuyos resultados se presentan a continuación:

Ítem #1 ¿La construcción física del modelo le ha sido sencilla? El 76 % de la población indicó que sí fue sencilla su construcción, mientras que un 24 % indicó que no.

Ese 76 % que indicó que sí, está compuesto por la variable de género: 32 % corresponde al género masculino y el 44 % al género femenino.

Por otra parte, al analizar la cantidad de respuestas sobre la facilidad de construcción del modelo físico, e incluyendo la variable *perfil profesional* de ciencias y letras, se encontró el siguiente resultado:

Fig. 5
Porcentaje de docentes según el perfil



El 76 % corresponde al área de ciencias y en esta área el 56 % considera que es fue sencillo, mientras que el 20 % restante considera que no lo fue.

Por otra parte, el 24 % de los profesionales del área de letras, un 20% consideran es sencillo y el 4% encuentra que no es sencillo.

De esta manera se puede concluir que área profesional no influye en la construcción física del modelo.

En la variable *edad* el 32 % de la población total son personas menores de 30 años, de las cuales de ese 32%, la mitad indica que le es fácil la construcción del modelo físico y el 16 % indica que no. Mientras que del 68 % restante de las personas, cuyas edades superan o igualan a los 30 años, se encontró que el 60 % indica que el modelo es sencillo y el 8% indica que no.

Dado que está usando cifras propias de la investigación, se solicita revisar bien los porcentajes y la interpretación de estos en el documento.

Ítem # 2 ¿El uso de la herramienta Digital Designer para la construcción del Modelo 3D Robot, le fue de utilidad?

El 96 % de la población indicó que le fue más utilidad este modelo, mientras el otro 4 % indicó que fue poco útil:

Ese porcentaje como comportamiento de toda la población, está compuesto por 40 % población masculina y el 56 % femenina.

El 4 % restante de la población, que considera que no es útil, es la opinión una persona del sexo femenino.

Al realizar un análisis desde el área profesional (letras y ciencias), se obtuvo que el 76% consideró que es útil, mientras que el 24 % indicó que no.

Del 76 % obtenido respecto al *perfil profesional* en el área de ciencias, el 72 % indicó que si fue útil y un 4% indicó que no. El otro 24% correspondiente al área de letras, opina que sí.

En conclusión, no hay ninguna ventaja del área de ciencias.

Por otra parte, considerando la variable *edad*, se analizaron personas mayores e iguales a 30 años, ya que los menores de 30 son recién graduados, y están más actualizados en cuanto a tecnologías y metodologías, mientras que los mayores de 30 tienen más experiencia en las labores docentes.

El universo de estudio es de 25 personas, de las cuales 17 son mayores o iguales a 30 años y 8 menores. Esto quiere decir que el 32 % son personas menores a 30 años y un 68 % son mayores o iguales.

Del 68 %, se obtuvo que el 4 % corresponde a respuestas negativas y el 64 % corresponde a las respuestas donde la herramienta fue de utilidad.

Mientras que en el 32 %, la totalidad de las personas considera que si es de utilidad.

Ítem # 3: ¿Le fue de utilidad tener la construcción del Robot en la herramienta Lego Digital Designer previamente a la construcción del modelo físico?, ¿por qué?

El 100 % de los encuestados respondió que sí, y en su justificación señalaron lo siguiente:

Tabla 2
Frecuencia de respuestas

Respuesta	Frecuencia
Fácil de utilizar, fácil de ver	1
Practicar y diseñar	1
Permite crear una lista de las piezas que se requieren para armar el artefacto y una guía para su construcción	12
Desarrollo de destrezas motrices y cognitivas. Incentivar al uso de la imaginación en la elaboración de proyectos a nivel institucional	1
Permite seguir paso a paso la construcción de los modelos y sirve para el reconocimiento de las piezas que se necesitan para trabajar	1
Innovación y un nuevo sentido a la hora de impartir conocimientos	1
Se puede visualizar de forma más amplia el Robot que se pretende construir	1
Estimular el trabajo de una forma diferente	1
Mejorar la visión del proyecto a construir	1
Se incentiva la iniciativa de ingeniería de los participantes, para poder innovar modelos y poder crear nuevos retos	1
Permite crear diseños para mostrarle a los estudiantes antes de armar y que este software puede ser utilizado también por los estudiantes	1
Es entretenida	2

Ítem # 4: ¿Considera usted que la herramienta del Lego Digital Designer le será de gran utilidad para impartir las lecciones con sus estudiante?

El 100 % de los encuestados respondieron que sí.

Ítem # 5: ¿Considera usted que ambas herramientas son complementarias?, ¿por qué?

El 100% de los encuestados respondió que sí, y en su justificación señalaron lo siguiente:

Tabla 3
Frecuencia de respuestas del ítem #5

Respuesta	Frecuencia
Porque se pueden observar en la herramienta de digital paso a paso su construcción	19
Porque en caso de alguna duda uno puede regresar al punto de inicio	22

Respuesta	Frecuencia
El ambiente físico le permite a la persona visualizar que efectivamente puede terminar un modelo, sensación que no plasma el tenerlo solo en digital	12
Me siento más seguro al tener ambos ambientes porque poseo las instrucciones necesarias para llevarlo a cabo	22
Permite seguir paso a paso la construcción de los modelos y sirve para el reconocimiento de las piezas que se necesitan para trabajar	10

Conclusiones

- El ambiente en el aula es basado en la práctica, ello hace que el estudiante se sienta en un curso diferente, donde se le permite ir de lo puntual y concreto, para el desarrollo de un modelo robótico.
- La metodología fue cambiada para que se centrara en el estudiante y altamente participativa, lo cual permitió que el 100 % de los docentes del grupo logaran terminar el ejercicio propuesto.
- El rol del profesor fue exitoso, ya que participó como mediador en el proceso donde explica los conocimientos básicos y los estudiantes son los protagonistas, quienes pueden desarrollar su creatividad y realizar las consultas según el modelo que se está desarrollando. Los estudiantes realizaron una serie de pruebas donde intercambiaron los conocimientos aprendidos con sus otros compañeros del taller. Esto permitió enriquecer el proceso de construcción del conocimiento.
- El uso de lenguajes gráficos para la introducción del principio básico de programación, es muy útil para enseñar a los docentes, ya que relaciona sintaxis con símbolos y colores y permite que ellos rápidamente se familiaricen con los conceptos, lo que permite avanzar y aprovechar las lecciones del curso.
- Los docentes se sintieron muy motivados por utilizar una herramienta virtual con las mismas piezas que se encuentran en el entorno físico. Se logró concluir que el uso de ambos entornos se considera complementarios para lograr que los docentes comprendan todo el proceso de construcción del robot, ya que tienen las mismas piezas disponibles para la prueba de sus modelos.
- El hecho que los docentes tengan el archivo digital del modelo robot construido, les permitirá replicar este taller con sus estudiantes, logrando así

un mayor impacto en el proyecto y aprovechamiento del tiempo libre en el área de tecnología, por parte de los estudiantes.

- Se concluyó que tener un taller donde se use ambos ambientes, genera tranquilidad con los participantes, porque en caso de equivocarse, pueden recurrir al entorno digital para recordar el proceso.
- La gamificación y la motivación que generan los facilitadores del curso es fundamental, ya que acompaña de la mano al docente y conoce su potencial para aprender y hacerlo efectivo, para que posteriormente lo replique con sus estudiantes.
- Implementar la metodología *aprender haciendo* fue efectiva en la medida que los docentes aprendieron de una manera más rápida y lograron cautivar su atención durante toda la etapa del experimento.
- Se recomienda que los docentes conozcan primeramente el kit LEGO EV3 antes de entrar al entorno virtual, para así manipular de una manera más sencilla las piezas.
- Se recomienda que antes de utilizar el entorno del Lego Digital Designer, el facilitador genere una primera explicación sobre el entorno gráfico que este ofrece, así como sus partes.
- Respecto a usuarios finales (estudiantes), este reto hasta el momento se ha realizado en cinco colegios, de los cuales dos de ellos cuentan con su propia mesa de competencia (en madera) donde pueden probar estos retos.
- Por otra parte, para los estudiantes es muy cómodo hacer uso de la herramienta Lego Digital Designer, porque les permite repetir varias veces la construcción de un modelo y probar su construcción en el ambiente físico.
- Se tiene conocimiento que este modelo de robot ha sido realizado por al menos 25 estudiantes de los colegios participantes en actividades como ferias científicas, lo cual demuestra que el robot tiene una construcción sencilla para el estudiante, quien al haberlo construido y probado, se siente motivado para idear nuevas construcciones, las cuales plasma lugares como el evento en mención.
- Los estudiantes que han sido beneficiados con este proyecto, son jóvenes entre edades de 13 a 17 años, de colegios académicos y técnicos, por lo que algunos conocen las estructuras básicas de programación. Sin embargo, la construcción de modelos que se encuentran probados y diseñados les permite a los estudiantes tener confianza en la construcción de este tipo de

robots. Por otra parte, al realizar tanto la construcción física como con el LDD genera en ellos motivación para mejorar los diseños y adentrarse en el mundo de la programación.

Referencias

- [1] Deterding, S. (2012). "Gamification: Using Game Design Elements in Non-Gaming Contexts," en [Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems] doi: 10.1145/1979742.1979575.
- [2] Werbach, K (2013), Gamificación. Fundació Factor Humà. Unidad de Conocimiento [en línea] Disponible en: https://factorhumana.org/attachments_secure/article/10017/gamificacio_cast.pdf.
- [3] Arlegui & Pina, Didáctica de la Robótica Educativa, Un enfoque constructivista, España. Dextra, (2016).
- [4] Bravo, F, Forero, A, (2012). "La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y el desarrollo de competencias generales". Teoría de la Educación, Educación y Cultura en la Sociedad de la Información. P. 122. [En línea] Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2010/201024390007.pdf>.
- [5] Proyecto Butiá (s.f) [en línea] Disponible en: <https://www.fing.edu.uy/inco/proyectos/butia/>
- [6] González, J., Jiménez, J (2009). "La Robótica como herramienta para la educación en ciencias e ingeniería," Revista Iberoamericana de Informática Educativa, 2009.31-36p.
- [7] Herranz, E. (2013). Gamification, I Feria Informática (febrero 2013), Universidad Carlos III Madrid España.
- [8] Borgnakke, K. 2004. "Ethnographic studies and analysis of a recurrent theme: Learning by Doing". European Educational Research Journal, 3 (3), 539-565.
- [9] Kapp, K. (2012). The Gamification of Learning and Instruction: Game-Based Methods and Strategies for Training and Education. San Francisco: John Wiley & Sons.

(SUBMISSION 115)

Mooc Mobile: desafíos para el desarrollo efectivo de la interacción y el aprendizaje colaborativo

JOSÉ M. DAVID

GABRIEL M. RAMÍREZ

CÉSAR A. COLLAZOS

*Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones - FIET**Universidad del Cauca**Popayán, Cauca, Colombia*

Abstract

In an interconnected and growing world, education must face new challenges that promote the development of learning based on the possibility to encourage the interaction and collaboration of students in the learning processes in education. One of the tools that allow the development of collaboration and interaction are the MOOCs Mobile. These technologies currently present several problems that have slowed their growth, some of the disadvantages are in the misuse of technology, failure to develop adequate activities that allow effective collaboration among participants, poor development of collaboration in learning Mobile, among others. This article presents an update on the state-of-the-art of MOOC Mobile, mobile-learning, and CSCL technologies, to develop an MOOC Mobile that enables interaction and collaboration to be developed effectively.

Keywords: MOOC, mobile-learning, CSCL, MOOC Mobile.

Introducción

En un mundo interconectado y en crecimiento, la educación debe plantearse nuevos retos que le permitan mejorar los procesos de desarrollo académico de los estudiantes, a través de herramientas interactivas que dinamicen los medios de producción de conocimiento, y que potencien el desarrollo de un aprendizaje basado en la posibilidad de compartir ideas, y fomentar la interacción entre estudiantes [16].

Al momento de adquirir conocimientos a través del uso de plataformas virtuales, los Massive Open Online Course (en adelante MOOC, por sus siglas en inglés) son los de mayor acogida en la actualidad. Estas plataformas ofrecen a los usuarios una serie de herramientas orientadas hacia el aprendizaje y la creación de nuevos conocimientos por medio de distintas actividades y procesos evaluativos que permiten medir el progreso del estudiante, con el fin de acreditar el cumplimiento del curso [18].

De acuerdo a los planteamientos realizados por la firma Scopeo [16], una de las principales críticas que han recibido los MOOC, y que han limitado considerablemente su impacto en la comunidad educativa, es que tienen una tasa de abandono muy alta (aproximadamente un 75 %). De igual manera, [6] plantean que es evidente una alta deserción de estudiantes en los MOOC puesto que sólo el 4 % de los inscritos terminan los cursos.

[9] coincide en la falta de interacción y colaboración entre los estudiantes de un MOOC, este es uno de los grandes desafíos que enfrentan estas plataformas. En el artículo se comenta como la falta de colaboración entre los estudiantes genera una sensación de abandono que eventualmente contribuye las altas tasas de deserción de estos cursos. Se plantea, que la educación requiere diálogo, colaboración y un apoyo constante para su calidad, elementos que son limitados en este tipo de plataformas tecnológicas, puesto que la mayoría de sus mecanismos de comunicación y colaboración entre estudiantes se limitan a foros de discusión y mensajes de correo.

Según [11] la facilidad de acceso y manipulación de las tecnologías *mobile-learning*, son cualidades que favorecen la interactividad de plataformas virtuales como los MOOC. De igual manera [15], resaltan que a pesar de los beneficios que el *mobile-learning* y el CSCL aportan a los MOOC aún faltan más investigaciones que se enfoquen en combinar estas dos áreas de estudio.

A pesar de haber aplicaciones móviles como MyLearningMentor y GroupMOOC [8], que buscan generar hábitos de estudio grupales, no incluyen elementos que fomenten una colaboración efectiva como la conciencia e interacción positiva,

awareness, coordinación y comunicación grupal, promoción de recompensas conjuntas, entre otras.

El presente artículo es la primera parte de la investigación de un proyecto de grado que va dirigido a fomentar colaboración efectiva entre estudiantes en proceso académico, mediante el desarrollo de un MOOC Mobile, a través del desarrollo de un curso con actividades colaborativas, basadas en el Modelo para el Diseño de Actividades de Aprendizaje Colaborativo de Collazos [3], en el que intervienen con elementos de aprendizaje *mobile learning*. El curso propuesto será validado mediante un caso de estudio haciendo uso una plataforma MOOC Mobile.

Estado del arte

MOOCs

A pesar de que la definición de MOOC varía según el autor, la mayoría coincide en que estas plataformas virtuales de aprendizaje deben reunir las siguientes características para poder ser consideradas como MOOC [13].

Características

- **Massive (Masivo):** Es una de las características más notables de estos cursos, es la capacidad para poder albergar un gran número de estudiantes sin comprometer la funcionalidad del curso, sean cientos o miles de estudiantes, sin importar su ubicación geográfica, zona horaria o idioma [13].
- **Online (En línea):** El cien por ciento del curso debe poder realizarse a través de internet sin requerir de la interacción física de estudiantes y maestros [13].
- **Open (Abiertos):** La inscripción de estos cursos debe ser abierta, sin que esto implique que deban ser gratuitos. En este sentido las plataformas se dividen en dos: las plataformas MOOC que ofrecen certificaciones de manera gratuita y otras como Edx o Udemy que ofrecen el curso de manera gratuita sin embargo su certificación implica un costo [13].
- **Course (Curso):** Debe tener la estructura formal de un curso, como contenidos y objetivos a alcanzar en un periodo de tiempo claramente definido, acompañado de métodos evaluativos que permitan medir el desempeño de los estudiantes [13].

En particular, los MOOC permiten trabajar temas aislados de un currículo en el diseño y estructura de cada curso, actividades de aprendizaje que se llevan a

cabo en tiempo real (sincrónico) o en algún otro momento (asincrónico), lo que posibilita un trabajo más acoplado a los ritmos de aprendizaje de cada estudiante/usuario, además de un aprendizaje adaptativo, en la medida en que la plataforma del curso evalúa constantemente los avances en materia de conocimiento de los estudiantes y busca solucionarlos antes de seguir en el proceso [10].

En cuanto al diseño de los MOOC, es importante tener en cuenta a [6], quienes plantean que el diseño de un MOOC es un desafío que implica considerar diferentes aspectos a nivel tecnológico y metodológico. Uno de los factores de éxito de este tipo de herramientas debe ser su colaboración, y sin duda alguna, no es una tarea sencilla diseñar actividades que favorezcan y propicien una verdadera colaboración.

Creemos que, en el futuro los MOOC deberían apoyar más a los modelos trans institucionales, y los procesos de aprendizaje secuenciados de forma flexible, reuniendo a profesores y alumnos de todo el mundo con filosofías comunes de educación, intereses complementarios y con experiencia en muchos temas relevantes. Estas nuevas formas de MOOC fomentarán la colaboración entre profesores y alumnos abarcando los límites tradicionales y convirtiendo a la educación superior en una educación internacional e interinstitucional, interdisciplinaria [6].

Categorías

Según Muñoz [13], la categorización de los MOOC depende del diseño de los contenidos del curso, además de las herramientas con las que soporte el desarrollo de estos contenidos, las teorías de aprendizaje y los modelos pedagógicos desde los cuales se conforme. En particular, se puede distinguir entre MOOC tradicionales o xMOOC y MOOC conectivistas o cMOOC:

- **xMOOC:** se fundamentan en un modelo objetivista, donde los organizadores son quienes se encargan de desarrollar y presentar los contenidos y las actividades, usan modelos de evaluación tradicionales.
- **cMOOC:** están basados en la teoría del conectivismo, pues los contenidos y actividades se establecen a partir del aporte de cada uno de los integrantes.

Mobile-learning

Siguiendo el planteamiento de [7], el *mobile learning* representa un valioso aporte a nivel educativo, puesto que los dispositivos móviles son herramientas útiles y necesarias, no solo para transmitir información, sino para construir nuevos conocimientos. Por tanto, no son simples medios cuyo objetivo específico sea

el de transmitir la información en diferentes lugares del mundo, ya que son instrumentos que se han posicionado en relación al pensamiento y a la cultura de las sociedades.

El estudio planteado por Meza [12], es relevante en la medida en que se definen con detalle los diferentes aspectos y elementos que se integran en la estrategia de enseñanza utilizada en las herramientas de *mobile learning*. Particularmente, estos elementos se agrupan de la siguiente manera:

- **Partir de los conocimientos previos:** es más efectivo construir nuevos conocimientos con base en los anteriormente adquiridos. Por tanto, el uso de estas herramientas debe estar orientado a relacionar la nueva información con los conocimientos previos de la persona, formulando de esta manera interpretaciones significativas que mejoren su nivel de comprensión, análisis y reflexión.
- **Fomentar el aprendizaje significativo:** se genera un proceso de autoconstrucción, mediante el cual los estudiantes interpretan individualmente un conjunto de aprendizajes, y generan reflexiones y análisis propios que les permiten ampliar su horizonte significativo, al vincular sus percepciones e ideas al proceso de construcción de conocimientos que se desarrolla en las aulas.
- **Motivar y orientar:** mantener motivados a los estudiantes es fundamental para que puedan desarrollar sus capacidades, para que se sientan cómodos y satisfechos con las actividades que se generan a nivel académico, y para que sientan el gusto y el deseo por investigar y aprender fuera de los escenarios educativos, utilizando herramientas que dinamicen los procesos y sirvan para mejorar su atención.

Según Chamberlin y Parish [2], el uso masivo de los aparatos móviles, como teléfonos celulares y tabletas, hacen imperativo el hecho de diseñar estrategias de aprendizaje a través de dichos dispositivos, presentándole nuevas opciones al usuario, que no sólo deben tener una guía pedagógica y una intención educativa clara, sino que además deben cautivar y atraer la atención de las personas, por medio de contenidos atractivos y dinámicos, desde los cuales se potencien nuevos modelos de conocimiento, orientados a la colaboración e interacción.

Aprendizaje colaborativo soportado por computador

El aprendizaje colaborativo permite a los estudiantes cooperar entre sí para alcanzar un determinado objetivo, por medio de una interrelación constante,

con el fin de potenciar sus habilidades [4]. La implementación de esta estrategia representa una oportunidad para que los docentes, a través del diseño de sus actividades, promuevan en los estudiantes mejores capacidades de análisis, una mayor habilidad de comunicación, actitud colaborativa y disposición para escuchar, en medio de un ambiente de respeto y orden [14].

Los métodos de aprendizaje colaborativo comparten la idea de que los estudiantes trabajen juntos para aprender y son responsables del aprendizaje de sus compañeros tanto como del suyo propio. Todo esto trae consigo una renovación en los roles asociados a profesores y alumnos, tema de este trabajo. Esta renovación también afecta a los desarrolladores de programas educativos. Las herramientas colaborativas deben enfatizar aspectos como el razonamiento, el autoaprendizaje y el aprendizaje colaborativo [4].

[15] concluyen que las herramientas con las que cuentan actualmente los MOOC, para favorecer la colaboración, son limitadas a pesar de que se ha comprobado que las estrategias y metodologías colaborativas son fundamentales para mejorar los procesos de generación de conocimiento y potenciar las capacidades individuales.

A pesar de la importancia y las ventajas que ofrece el aprendizaje colaborativo, los MOOC usualmente no generan ningún aporte para favorecer los aspectos claves de la colaboración, pues la incorporan de una manera muy superficial a través de la participación en foros y de la revisión entre parejas, y esto se debe en gran medida a la falta de metodologías claras para la elaboración de actividades colaborativas [6].

Modelo para diseñar actividades de aprendizaje colaborativo

Collazos [3] en su investigación presenta un modelo que busca dar solución al problema de la falta de pautas para el diseño de actividades de aprendizaje colaborativo, el cual incluye recomendaciones dirigidas a los docentes, mecanismos para facilitar el entendimiento del proceso de ejecución de cada recomendación y una herramienta de soporte que pretende facilitar la labor docente en el diseño de la actividad colaborativa.

El modelo está compuesto por una serie de actividades ejecutadas por el profesor y los estudiantes y clasificadas según su ejecución temporal en:

- **Preproceso:** diseñar el contenido, especificar el tamaño de los grupos, organizar los grupos, distribuir el material, diseñar los roles, especificar reglas, definir criterios de éxito y determinar el comportamiento deseado.

- **Proceso:** aplicar estrategias, cooperación intragrupal, testear criterios de éxito, monitorear, proveer ayuda, intervenir en caso de que haya problema, supervisar a los estudiantes y retroalimentación.
- **Posproceso:** revisar criterios de éxito, evaluar y presentar el cierre de la actividad.

Trabajos relacionados

En esta sección se tendrán en cuenta algunos de los estudios que busquen solventar las problemáticas de los MOOC por medio de la implementación de técnicas aprendizaje colaborativo y entornos móviles de aprendizaje (Mobile-Learning).

MOOC colaborativos

Según las palabras de González, Collazos y García [6], el principal problema de los MOOC es que las plataformas masivas a través de las cuales se implementan, limitan las posibilidades para que los estudiantes puedan colaborar e interactuar entre sí: “El principal problema con MOOC es su falta de capacidad para la colaboración de los alumnos a través de una interfaz centrada en el estudiante” [5].

En [9] se analizan siete problemáticas importantes que han limitado considerablemente los beneficios que se pueden obtener a partir de este tipo de plataformas educativas. Algunas de estas problemáticas hacen referencia a la falta de diálogo y colaboración entre los participantes, resaltando como el apoyo directo y constante de estudiantes y docentes puede mejorar la calidad educativa.

MOOC Mobile

Según las palabras de Muñoz [13], la gran mayoría de MOOC se han pensado para que puedan ser utilizados desde los dispositivos móviles, con el fin de mejorar y facilitar su acceso. Sin embargo, en [1] se plantea que existen limitaciones en la adaptación móvil de plataformas MOOC que condicionan su visibilidad, razón por la cual es importante mejorar los procesos iniciales de diseño y elaboración de contenidos, con el fin de ajustar los cursos a los contextos de aprendizaje de las personas en situaciones de movilidad. En este sentido, se propone:

Ofertar cursos MOOC diseñados, desde sus inicios, para los contextos de movilidad de los consumidores, especialmente ante un mercado laboral que exige formación continua y, por tanto, máximo aprovechamiento de los momentos y lugares para la tarea. Los espacios de enseñanza y aprendizaje ya no se limitan

al espacio físico del aula, sino que, por mediación de los dispositivos móviles, ha roto con estas barreras hacia contextos, experiencias e interacciones ubicuas y atemporales. El acceso ideal para los cursos MOOC sería apps [1].

Los MOOC Mobile son, ante todo, una respuesta ante las demandas de la sociedad actual para mejorar los medios de difusión del conocimiento y de la información, desarrollando sistemas que ofrecen diferentes tipos de herramientas, actividades y procesos de aprendizaje a los cuales pueden acceder los usuarios en sus dispositivos móviles, generando de esta forma las condiciones necesarias para facilitar el uso y el aprovechamiento de los beneficios generados por los MOOC [17].

Mendoza [11], resalta que uno de los objetivos centrales del uso de los MOOC como herramienta educativa es generar un cambio metodológico, proponiendo experiencias particulares donde los estudiantes dejan de ser espectadores pasivos, para convertirse en una parte activa y fundamental del proceso de construcción de conocimientos.

MyLearningMentor y GroupMOOC [8], son dos ejemplos de aplicaciones móviles que buscan facilitar hábitos de trabajo y habilidades de estudio para el aprendizaje a través de plataformas MOOC. MyLearningMentor es una aplicación móvil que proporciona una función de la planificación y el establecimiento de metas personalizado para los alumnos en función de su perfil, preferencias, prioridades, y el rendimiento anterior. GroupMOOC es una aplicación que también ofrece funcionalidades para organizar los MOOC donde los alumnos comparten sus resultados [15].

MyMOOCSpace

Acorde a la literatura [6] existen seis aspectos fundamentales para promover una colaboración efectiva, estos son: (1) objetivos en común, (2) interdependencia positiva, (3) coordinación y comunicación grupal, (4) responsabilidad individual, (5) conciencia e interacción positiva, (6) promover recompensas conjuntas.

En [15] se presenta MyMOOCSpace. El primer prototipo de un juego para móviles que tiene como objetivo fomentar la colaboración efectiva entre los participantes de un MOOC, mediante la implementación de dinámicas que busquen desarrollar tres de los seis aspectos de una colaboración efectiva. Estos son: (1) objetivo común, (2) la interdependencia positiva, y (4) la responsabilidad individual. Con el fin de evaluar la usabilidad y los mecanismos del juego.

Conclusiones y trabajos futuros

Producto de la revisión bibliográfica, se puede evidenciar el impacto positivo que los MOOC pueden tener en la educación. Sin embargo, para lograr el éxito esperado es necesario cubrir varias falencias que van desde lo tecnológico hasta lo pedagógico, destacando la falta de *colaboración efectiva* como uno de los inconvenientes más grandes de esta tecnología. En este sentido se puede observar que a pesar del impacto positivo que tienen el CSCL y el *mobile-learning* en los MOOC, son pocas las investigaciones orientadas a combinar estas dos áreas de estudio.

Diseñar actividades que promuevan un *aprendizaje colaborativo* es un desafío que requiere personal capacitado, metodologías y dedicación. Es necesario tener en cuenta que más allá de un buen diseño de las actividades, por sí mismas no pueden garantizar la colaboración esperada, pues hay factores externos de los participantes como la motivación, con la que no siempre se podrá contar.

Existen limitantes que no están contempladas en la literatura a la hora de implementar un estudio de caso sobre MOOC Mobile en países latinoamericanos como Colombia, como la capacidad de los *smartphone* de gama baja para responder a las *apps*, o el papel de las redes móviles, teniendo en cuenta que la capacidad de datos no es ilimitada. Este último aspecto reduce considerablemente el concepto de ubicuidad, teniendo en cuenta que limita la reproducción de videos, uno de los recursos más utilizados por plataformas MOOC.

Con el fin de dar mayor validez al experimento, se propone acordar el tema del curso con la población objetivo, esto con el fin de lograr una mayor motivación al desarrollo del mismo.

Referencias

- [1] Brazuelo, F., y Cacheir, M. Estudio de adaptabilidad para dispositivos móviles en plataformas MOOC. *Revista de Educación a Distancia*, vol. X, no. X. 15-Sept.-2015
- [2] Chamberlin, L. Y Parish, T. "MOOCs: Massive Open Online Courses or Massive and Often Obtuse Courses?" *Magazine eLearn*, 8, 2011. Doi >10.1145/2016016.2016017
- [3] Collazos, C., "Diseño de Actividades de Aprendizaje Colaborativo Asistidas por Computador", *Rev. Educ. en Ing.*, vol. 9, no. 17, pp. 143–149, 2014.

- [4] A. Collazos, C., Guerrero, L., Y Vergara, A. "Aprendizaje colaborativo: un cambio en el rol del profesor," en *Proceedings of the 3rd Workshop on Education on Computing*, Punta Arenas, Chile, 1-20. 20011.
- [5] EDTECHDEV. *What's the "problem" with MOOCs?*. 2012. [en línea]. Disponible en: <https://edtechdev.wordpress.com/2012/05/04/whats-the-problem-with-moocs/>
- [6] González, C., Collazos, C., & García, R. Desafío en el diseño de MOOCs: incorporación de aspectos para la colaboración y gamificación. *RED: Revista de educación a distancia*, (48), 1-23. 2016.
- [7] Gutiérrez I., Crespo, R. M., Y Kloos, C. Adapting an Awareness Tool for Massive Courses: the Case of ClassON. *Journal of Universal Computer Science*, 20 (1), 24-38. 2014.
- [8] Hoyos, C., Ayres, I., Sanagustin, M., Leony D., Kloss, C. "MyLearning-Mentor: A Mobile App to Support Learners Participating in MOOCs," *Journal of Universal Computer Science*, vol 21, no 5 (2015).
- [9] Inside Higher Ed (2012) *Playing the Role of MOOC Skeptic: 7 Concerns*. [En línea]. Disponible en: <https://www.insidehighered.com/blogs/technology-and-learning/playing-role-mooc-skeptic-7-concerns>
- [10] Mcauley, A., Stewart, B., Siemens, G., Y Cormier, D, (2010). The MOOC model for digital practice. SSHRC Knowledge Synthesis Grant on the Digital Economy. [en línea] Disponible en: https://oerknowledgecloud.org/sites/oerknowledgecloud.org/files/MOOC_Final.pdf
- [11] Mendoza, L. Enseñanza-Aprendizaje a través de dispositivos móviles, una experiencia MOOC. XXI encuentro internacional de educación a distancia. 2013.
- [12] Ministerio federal de Cooperación económica y desarrollo. 2012. Modelo pedagógico para proyectos de formación virtual [en línea] Disponible en: <https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp342P/1522/wp-content/uploads/2013/02/Ebook-final.pdf>
- [13] Muñoz, G. "Modelo para el diseño de actividades de aprendizaje colaborativo desde la perspectiva de la gamificación en un entorno MOOC (CSCM+G)". Tesis de Maestría. Facultad de Ing. Electrónica y Telecomunicaciones.
- [14] Onelly, H. "Diseño de estrategia de aprendizaje colaborativo basado en el uso de dispositivos móviles: una intervención en Informática Educativa," *Revista de informática Educativa*, Vol 1, 2015.

- [15] Ramírez, L., Pérez, M., Neyem, A., Y Rojas, J. Promoviendo la Colaboración Efectiva en MOOCs a través de Aplicaciones Móviles. Conferencia de CHILECON 2015. Santiago. 2015.
- [16] SCOPEO. (2013). SCOPEO INFORME N°2: MOOC: *Estado de la situación actual, posibilidades, retos y futuro*. Scopeo Informe No. 2 [en línea] Disponible en: <http://scopeo.usal.es/wp-content/uploads/2013/06/scopeoi002.pdf>
- [17] Sharple, M., Delgado, C. Yannis, D. Serge, G., Marcus, S. "Mobile and Accessible Learning for MOOCs," *Journal of Interactive Media in Education*, (1): 4, pp. 1-8. 2015.
- [18] Vizoso, M. "¿Serán los COMA (MOOC) el futuro del E-Learning y el punto de inflexión del sistema educativo actual?" *Revista Intenciones*, 5(3), 1-12. 2013.

1 11
2 0010
3 PROCESAMIENTO
4 **DE IMÁGENES,**
5 VISION POR
6 COMPUTADOR
7 Y MULTIMEDIA
8 1110
9 01

(SUBMISSION 109)

Caracterización y selección de longitudes de onda en el modelo de interacción luz–tejido orientado al análisis de imágenes multi–espectrales de piel

CAMILO ALEJANDRO BERMÚDEZ MEJÍA
JULY ANDREA GALEANO ZEA
Facultad de Ingenierías
Instituto Tecnológico Metropolitano
Medellín - Colombia

Resumen

La biopsia de tejido es un método de diagnóstico invasivo que, aunque presenta alta sensibilidad, puede causar dolor al paciente. El análisis de imágenes hyper/multi–espectrales, es presentado como una metodología potencial para el diagnóstico no invasivo basado en espectrometría de piel. Sin embargo, es necesario determinar las longitudes de onda en las cuales se presentan los componentes principales de absorción y de reflectancia para que puedan ser asociados a una patología determinada. En este trabajo, a partir del estudio y simulaciones del modelo de reflectancia difusa de piel, se propone un criterio de selección de longitudes de onda que permita cuantificar los componentes de absorción más fácilmente. Las longitudes de onda seleccionadas corresponden a los picos de absorción de los componentes de oxi/deoxihemoglobina en función de la saturación de oxígeno y la reflectancia tiene alta dependencia de la melanina presente en el tejido. Finalmente, el propósito consiste en obtener imágenes de piel en estas longitudes de onda mediante el uso de filtros de interferencia en el

rango visible y el cercano infrarrojo del espectro electromagnético, obteniendo menos muestras y reduciendo el costo de computo al reducir la densidad de las imágenes a capturar. Lo anterior tiene potencial uso en el caso de aplicaciones que implican la inversión del modelo por métodos de optimización como algoritmos genéticos.

Palabras clave: imágenes multi-espectrales, espectro de reflectancia difusa, modelo luz-tejido, criterio de selección de longitudes de onda, algoritmos genéticos.

Introducción

Aunque la biopsia ha sido una técnica muy utilizada como prueba definitiva para diagnosticar diversas patologías, presenta alta sensibilidad errando el diagnóstico en algunos casos, además de ser un método invasivo que compromete el tejido y causa dolor al paciente. Como alternativa, técnicas no invasivas basadas en espectrometría de tejido biológico son investigadas para dar una diagnosis temprana y más precisa. Entre tales técnicas, la reflectancia difusa permite estimar la concentración de diferentes componentes bioquímicos, como la oxihemoglobina, deoxihemoglobina y el agua, los cuales presentan un espectro de absorción definido en el rango visible y cercano infrarrojo [1].

Los sistemas basados en filtros de interferencia han sido desarrollados para la adquisición de imágenes multi-espectrales a ciertas longitudes de onda, incluso llegando a convertirse en versiones portátiles implementadas con *smartphones* e iluminación LED [2]. Una vez el haz de luz ilumina el tejido, la imagen es adquirida. Un paquete de imágenes es obtenido donde un pixel determinado en cada imagen representa la firma espectral muestreada del tejido bajo estudio. Mediante algoritmos de procesamiento de señales basados en separación ciega de fuentes (en adelante BSS), como análisis de componentes independientes (en adelante ICA) y la factorización de matriz no negativa (en adelante NMF), diferentes mapas de cuantificación de los principales cromóforos han sido obtenidos para el caso de estudio del tejido aórtico vacuno [3].

La reflectancia difusa ha sido modelada matemáticamente con el fin de describir la interacción de la luz con los componentes estructurales y bioquímicos que conforman el tejido [4], [5]. Igualmente, las propiedades ópticas provenientes de diversos tejidos *in vitro* han sido analizadas mediante diferentes técnicas reportadas en la literatura [6].

Algunos ejemplos en la longitud de onda de 633nm fueron utilizados por Morales *et al.* [7] con el propósito de recuperar las propiedades ópticas de un tejido a partir de las transmitancias y reflectancias calculadas mediante simulación

Monte Carlo para múltiples capas y la ley de Beer-Lambert. Para una simulación con 5000 fotones a 30 generaciones, el programa GA-MCML (basado en Monte Carlo y algoritmos genéticos) fue utilizado para recuperar los parámetros ópticos, los cuales se aproximaron más a los ejemplos en comparación a los obtenidos mediante el modelo Kubelka-Munk [7].

La selección de bandas es una técnica utilizada con el propósito de reducir la dimensionalidad de los datos en el procesamiento de imágenes hyper/multi-espectrales. De esta manera, Du *et al.* [8] presentó un método de selección de bandas utilizando análisis de componentes principales (ICA), en el cual la matriz de pesos es evaluada con el propósito de determinar la contribución de cada banda individual y seleccionar aquellas que contienen mayor información de las imágenes hyper-espectrales. En este método, el algoritmo FastICA es utilizado para obtener la matriz de pesos y los mayores valores de su promedio por filas determinan las bandas que contienen mayor información espectral. A partir de las bandas seleccionadas, una nueva imagen espectral es generada sin cambiar su significado físico [8].

Otra metodología para la selección de bandas orientado al procesamiento de datos hyper-espectrales mediante la separabilidad por parejas y el análisis de la matriz de coeficientes fue propuesta por Huang *et al.* [9] a partir de la decorrelación de las clases mediante la transformación de componentes principales (en adelante PCT), el método propuesto calcula nuevos valores del criterio para las bandas individuales y, junto con los coeficientes del PCT correspondiente, al ser evaluados, permiten ordenar las bandas, asignar los pesos a las bandas originales y descartar las que son redundantes al superar un umbral de correlación. La carga computacional disminuye debido a que el procedimiento evita el cálculo para cada subconjunto de bandas. Aunque los experimentos que involucraron la clasificación de datos hyper-espectrales resultaron efectivos, el uso de la distancia Bhattacharyya y sus variantes como función criterio, podrían presentar buenos resultados para el método [9].

Yang *et al.* [10] propuso realizar la selección de bandas, basándose en el paralelismo que ofrecen los procesadores gráficos (GPUs), además, algoritmos no supervisados de selección fueron implementados. Para reducir la complejidad computacional, fue utilizado el algoritmo N-FINDR para unos pixeles seleccionados automáticamente. Al balancear la carga de trabajo entre la GPU (integrada en la tarjeta gráfica Geforce GTX285 de NVidia) y la CPU, los métodos propuestos, presentaron mejor desempeño, llegando a compararse con implementaciones basadas en clústeres. La implementación del N-FINDR con cálculo por expansión de cofactores presentó grandes ahorros tanto en la versión paralela como en la versión serial [10].

Debido a que el rango del espectro electromagnético y el cercano infrarrojo es amplio, el análisis del modelo es delimitado entre 250 y 1000nm. Sin embargo, el problema principal radica en el costo computacional para el procesamiento de cada imagen por longitud de onda.

Yudovsky *et al.* [4] indicó que las longitudes de onda pueden ser seleccionadas estratégicamente para que coincidan con los picos de absorción de la oxihemoglobina y deoxihemoglobina, pues incrementa la sensibilidad del método inverso en función de la saturación de oxígeno, debido a que exhibe absorciones distintivas y significativas. Si bien [4] recuperó los parámetros ópticos de la piel mediante simulación Monte Carlo para una banda comprendida entre 490 y 650nm, este enfoque es utilizado en este trabajo, pues supone un criterio para la reducción de dimensionalidad.

Un programa para detectar estas longitudes de onda fue implementado y los mapas de concentración de la fracción de melanosomas, de hemoglobina en la dermis y de la saturación de oxígeno fueron obtenidos mediante una inversión de modelo por medio de algoritmos genéticos.

El presente artículo está distribuido de la siguiente forma: la Sección 2 describe las ecuaciones que rigen el modelo de reflectancia en la interacción luz-tejido y el método de optimización utilizado en la obtención de los parámetros a partir del problema inverso, y la Sección 3 presenta los resultados obtenidos en las simulaciones del modelo y los mapas de concentración obtenidos de los componentes ópticos en las longitudes seleccionadas.

Materiales y método

Modelo de interacción luz-tejido

En Zonios *et al.* [5], se asume que el tejido se compone de un medio homogéneamente turbio, semi-infinito y con geometría unidimensional con el propósito de representar el modelo de reflectancia difusa en su forma más simple. En este modelo, la luz no absorbida experimenta múltiples dispersiones hasta que emerge del tejido como reflectancia difusa descrita por la Ecuación 1:

$$R = \frac{1}{1 + K \frac{\mu_a}{\mu_s}} \quad (1)$$

Siendo μ_a el componente de absorción y μ_s el de dispersión, el factor K corresponde al reescalamiento del componente de dispersión y es introducido para coincidir con otros modelos más precisos. Los componentes de absorción y dispersión se definen mediante [4]:

$$\mu_{aback}(\lambda) = (7.84 \times 10^8) \lambda^{-3.255} \text{ cm}^{-1} \quad (2)$$

$$\mu_{amel}(\lambda) = (6.60 \times 10^{11}) \lambda^{-3.33} \text{ cm}^{-1} \quad (3)$$

Donde μ_{aback} y μ_{amel} dependen de la longitud de onda λ , y determinan los coeficientes de absorción del fondo y de la melanina respectivamente. La absorción en la epidermis se debe principalmente a estos dos componentes con f_{mel} entre 1 % y 10 %, correspondiente al volumen de fracción de melanosomas [4], [5]:

$$\mu_{aept} = \mu_{amel}(\lambda) f_{mel} + \mu_{aback}(\lambda) (1 - f_{mel}) \quad (4)$$

Los coeficientes de absorción de oxihemoglobina μ_{aoxy} y deoxihemoglobina μ_{adeoxy} están dados por [4], [5]:

$$\mu_{aoxy} = \epsilon_{oxy}(\lambda) C_{heme} SO_2 / 66500 \quad (5)$$

$$\mu_{adeoxy} = \epsilon_{deoxy}(\lambda) C_{heme} (1 - SO_2) / 66500 \quad (6)$$

Siendo ϵ_{oxy} y ϵ_{deoxy} los coeficientes de extinción molar de oxihemoglobina y deoxihemoglobina respectivamente; C_{heme} es el valor promedio de concentración de hemoglobina con valor típico de 150g/l, y SO_2 corresponde al nivel de saturación de oxígeno entre 0 % y 100 %.

En el rango visible, la mayor contribución en la absorción debido a la sangre μ_{ablood} , se debe a la oxihemoglobina y deoxihemoglobina. Por lo cual [4], [5]:

$$\mu_{ablood} = \mu_{aoxy} + \mu_{adeoxy} \quad (7)$$

El coeficiente de absorción de la dermis se compone principalmente por la absorción de la sangre y el fondo, y es calculado como [4], [5]:

$$\mu_{aderm} = \mu_{ablood}(\lambda) f_{blood} + \mu_{aback}(\lambda) (1 - f_{blood}) \quad (8)$$

Donde f_{blood} es la fracción de volumen de la dermis ocupada por la sangre entre 0.2 % y 0.7 %.

Así, el coeficiente de absorción utilizado en el modelo de reflectancia puede representarse a partir de las ecuaciones 4 y 8 como [4], [5]:

$$\mu_a = \mu_{aept} + \mu_{aderm} \quad (9)$$

El coeficiente de dispersión se obtiene a partir de [4], [5]:

$$\mu_s = C \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-b} \quad (10)$$

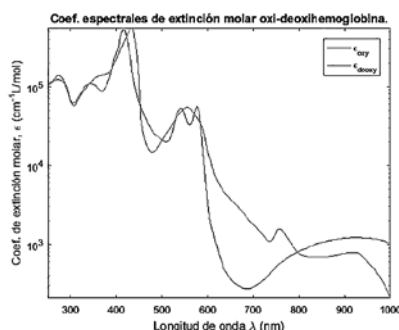
Siendo C la constante de dispersión entre $4.0 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ y $5.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$, y b la potencia de dispersión entre 1.10 y 1.50. El término λ_0 es de 1nm y es introducido para mantener consistencia entre las unidades.

Espectros teóricos obtenidos y simulados

En Prahl *et al.* [11], se muestra el espectro teórico para los coeficientes de extinción molar de oxihemoglobina y deoxihemoglobina. Los datos tabulados fueron utilizados durante la representación del modelo y la gráfica característica se presenta en la Fig. 1.

Fig. 1

Gráfica de los coeficientes de extinción molar de oxi/deoxihemoglobina



En [4], el espectro de la reflectancia difusa entre 490 y 650nm fue generado mediante simulación Montecarlo para un rango amplio de fracción de volumen de melanosomas, espesor epidérmico, volumen de hemoglobina y saturación de oxígeno. Después, un método inverso fue implementado con el propósito de recuperar estas magnitudes fisiológicas para una reflectancia difusa de la piel simulada. En este estudio, el autor sugiere que las longitudes de onda pueden ser estratégicamente seleccionadas para que coincidan con los picos de absorción de oxihemoglobina y deoxihemoglobina, y así incrementar la sensibilidad del método inverso.

Algoritmo genético

Un algoritmo genético es un método de búsqueda basado en la teoría de Darwin, en los principios de genética y selección natural. Los elementos básicos de la selección natural son: reproducción, cruzamiento o intercambio de genética, y mutación que es la alteración de la información genética [12].

Este algoritmo busca la resolución de problemas de optimización partiendo del proceso de conseguir una población inicial (o grupos de valores de las variables de diseño de un problema) de la cual se seleccionan los mejores individuos (o valores) para luego reproducirlos y mutarlos, con el fin de obtener la siguiente generación de individuos que serán mejores que la generación anterior. Los valores que se consideran mejores dentro de la población inicial, son aquellos que permiten realizar la optimización de la función objetivo dentro del problema dado. La función objetivo también es denominada como función *fitness*.

En el caso del trabajo de este artículo, la función objetivo corresponde a la minimización del error medio cuadrático entre el espectro de reflectancia bajo estudio y el espectro obtenido de la ecuación (1) calculado a partir de los valores de las variables de diseño, obtenidos de las poblaciones de individuos generadas con el desarrollo del algoritmo genético. Los valores de las variables de diseño que optimicen la función objetivo, serán aquellos que corresponden al espectro bajo estudio.

Para la implementación del algoritmo genético en este trabajo, el espectro de reflectancia bajo estudio corresponde a: (i). un espectro continuo, simulado a partir de la ecuación (1), en el espectro entre 250nm y 1000nm, o (ii) a un espectro discontinuo, en longitudes de ondas específicas seleccionadas como se presentará más adelante. El espectro de reflectancia bajo estudio es analizado por medio del algoritmo genético, siguiendo los pasos a continuación:

- Generación de la población de individuos: para trabajar en este caso se utiliza una población de 20 individuos, en el rango de cada parámetro a evaluar (f_{blood} , f_{mel} , y SO_2). La población de individuos es representada de forma binaria.
- Con los valores de los individuos de la población generada en el punto anterior, se generan 20 espectros de reflectancia mediante la Ecuación (1). Luego, por cada uno de estos valores de reflectancia se calcula la función objetivo con el espectro de reflectancia bajo estudio. En total, se generan 20 valores de la función objetivo.
- Con las funciones objetivo y la población de individuos generada, se procede al paso de la reproducción. Se utiliza el método de selección de la ruleta. De este método de selección se obtiene una nueva población de individuos.
- Se aplica *crossover*, el cual realiza el cruce de los valores encontrados por la reproducción, generando otros nuevos por el intercambio de *bits*, proporcionando así una nueva población.
- Se finaliza con el proceso de mutación, es decir; se selecciona una posición al azar en cada individuo de la población generada en el *crossover* y se re-

emplaza su valor: cuando éste vale 0, después de mutarlo quedará en 1 y así mismo cuando esté valor sea 1 pasará a 0. En este, produce una nueva población de individuos.

- Finalmente se repiten los pasos 2 a 6 hasta llegar al mínimo de la función objetivo.

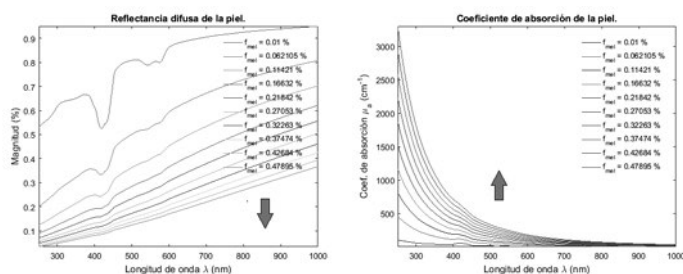
Resultados

A partir de lo expuesto por [4], se plantea como hipótesis seleccionar las longitudes de onda en las cuales se presentan los picos máximos de absorción de oxihemoglobina y deoxihemoglobina, como un criterio de selección de los filtros de interferencia utilizados para iluminar el tejido, en la etapa previa a la captura de las imágenes. Durante la simulación del modelo de reflectancia difusa, con variaciones de los diferentes cromóforos, se determinó cómo afecta el modelo y su cuantización.

Asumiendo los valores promedio de cada componente y para un factor de reescalamiento de $K=3$, ante la variación de la fracción de melanosomas se obtuvo un incremento de la absorción en la capa epidérmica μ_{epi} y por lo tanto en la piel μ_a ; generando una disminución en la reflectancia difusa según la Fig. 2.

Fig. 2

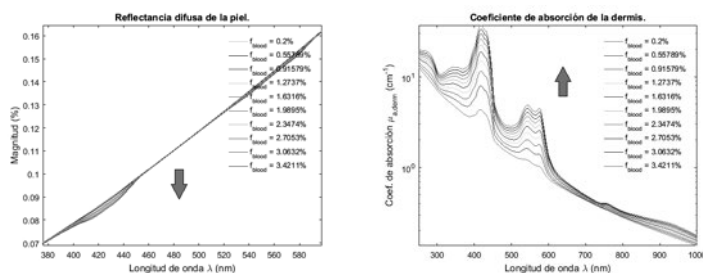
Absorción en la epidermis (iz.) y reflectancia difusa de la piel (der.) por incremento de la fracción de melanosomas



Al variar la fracción de volumen de la sangre, se obtuvo un incremento de la absorción en la dermis μ_{derm} . Sin embargo, la absorción de la piel es similar para todas las variaciones, sobrepuesta en un decaimiento exponencial con poca variación entre 380–450nm y 520–590nm aproximadamente, rangos correspondientes a las longitudes donde se presentan algunos picos característicos en los coeficientes de extinción molar de oxi/deoxihemoglobina. Para la reflectancia difusa simulada, estos picos que corresponden a la absorción de oxi/deoxihe-

moglobina, se atenúan para valores de f_{blood} mínimos en estas longitudes de onda, como se muestra en la Fig. 3.

Fig. 3
Absorción en la dermis (iz.) y reflectancia difusa de la piel (der.)
por incremento de la fracción de volumen de la sangre



Finalmente, durante el aumento de la saturación de oxígeno, se obtuvo un incremento por absorción de oxihemoglobina, y a su vez, una disminución por absorción de deoxihemoglobina. Los valores de absorción en la dermis y de la piel se ven alterados a partir de la absorción en la sangre, modificando eventualmente, la reflectancia según se observa desde la Fig. 4 a la 6.

Fig. 4
Absorción en oxi/deoxihemoglobina por incremento
de la saturación de oxígeno

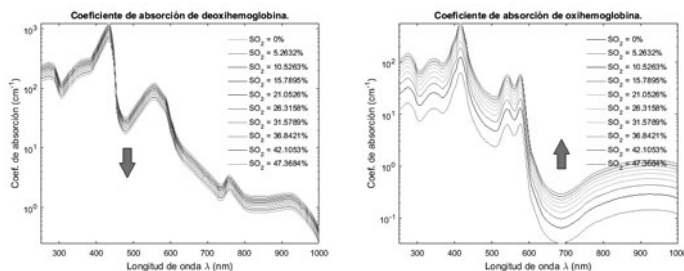


Fig. 5
Absorción en la sangre y la dermis por incremento de la saturación de oxígeno

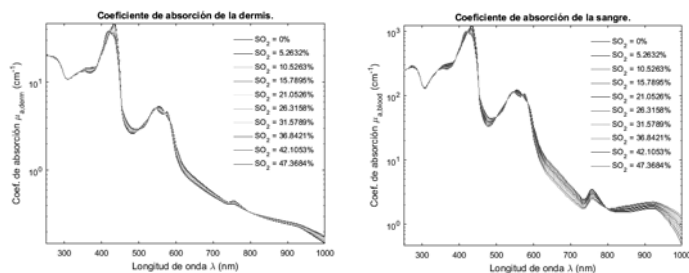
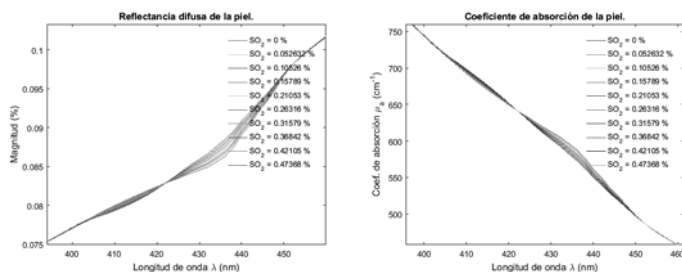


Fig. 6

Absorción y reflectancia en la piel por incremento de la saturación de oxígeno

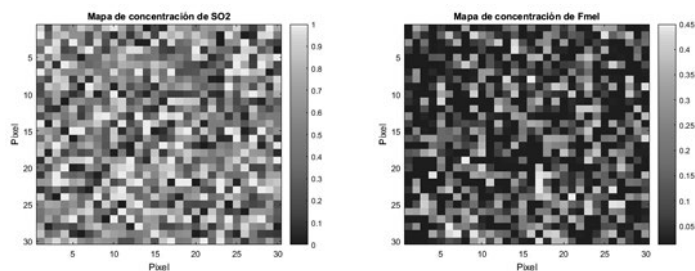


Las longitudes de onda utilizadas para muestrear el modelo de reflectancia difusa fueron obtenidas a partir de los picos máximos de absorción de oxi/deoxihemoglobina, mediante un programa detector de cambio de pendiente por aproximación de diferencias finitas e interpolando, obteniéndose: 250, 272, 274, 344, 414, 434, 542, 556, 576, 734, 758, 914 y 924nm.

A partir de la reflectancia simulada en el espectro continuo entre 250 y 1000nm, f_{blood} , f_{mel} y SO_2 , y fueron estimados mediante la implementación del algoritmo genético a 40 iteraciones, obteniéndose los mapas de concentración respectivos para estos cromóforos (Fig. 7). Se repitió el procedimiento para las siguientes longitudes de onda características: 434, 542, 556, 576, 734 y 758nm (Fig. 8). Se seleccionaron sólo estas longitudes de onda debido a que las cámaras comunes operan de forma óptima en el rango visible del espectro electromagnético. En los mapas obtenidos, el valor máximo corresponde a la presencia de estos componentes, mientras que el valor mínimo indica la ausencia de estos.

Fig. 7

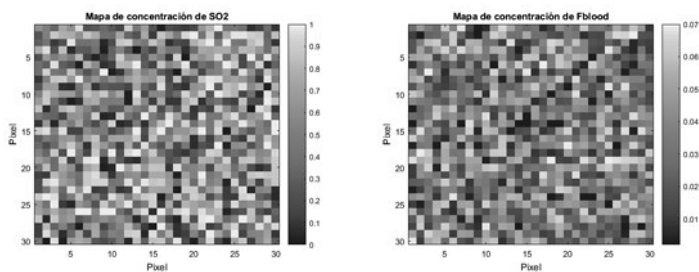
Mapas de concentración obtenidos para el espectro continuo (250–1000nm)



Arriba: Mapas de concentración de fracción volumétrica de sangre (iz.) y de la fracción de melanosomas (der.).

Abajo: Mapa de concentración de saturación de oxígeno.

Fig. 8
Mapas de concentración obtenidos para el espectro
muestreado en el rango visible



Arriba: Mapas de concentración de la fracción volumétrica de sangre (izq.) y de la fracción de melanosomas (der.).

Abajo: Mapa de concentración de saturación de oxígeno.

El promedio, la desviación estándar y el error cuadrático medio (en adelante ECM) fueron determinados a partir del *fitness* generado por el algoritmo genético en la última iteración (Tabla 1), obteniéndose un $ECM=2.1928\times10^{-4}$, que fue calculado entre los datos obtenidos mediante las longitudes de onda del espectro muestreado y los del espectro continuo (250–1000nm).

Tabla 1
Promedio y desviación del fitness
en la última iteración (iteración 40)

	Esp. Continuo	Esp. Muestreado
Promedio		
Desviación estándar		

Nuevamente, el procedimiento se repitió para una ejecución del algoritmo genético a 100 iteraciones (Tabla 2), obteniéndose un $ECM=2.1470\times10^{-4}$. Esto se realizó con el propósito de evaluar el desempeño del algoritmo genético y comparar con los resultados proporcionados para la ejecución a 40 iteraciones.

Tabla 2
Promedio y desviación del fitness
en la última iteración (iteración 100)

	Esp. Continuo	Esp. Muestreado
Promedio		
Desviación estándar		

Conclusiones

Fue posible determinar que el modelo de reflectancia presenta mayor sensibilidad ante la concentración de melanina y de saturación de oxígeno, además de que disminuye conforme incrementa la concentración de estos cromóforos. También, los picos de absorción debido a la oxi/deoxihemoglobina son atenuados cada vez más.

La imagen multispectral puede conformarse a partir de imágenes en escala de gris obtenidas mediante la iluminación del tejido utilizando filtros de interferencia en las longitudes de onda seleccionadas, con el propósito de reducir el coste computacional al procesar menos imágenes. Sin embargo, se considera abarcar un rango alrededor de estas longitudes, o por lo menos alrededor de 434nm, pues durante simulaciones sucesivas para todas las combinaciones posibles, se obtuvo que el pico característico en esta longitud de onda para deoxihemoglobina se desplaza en un rango pequeño en función de la saturación de oxígeno.

Para el algoritmo genético ejecutado a 40 iteraciones con las longitudes de onda seleccionadas, se presentó una menor desviación estándar del *fitness* en su última iteración, similar a la obtenida con el algoritmo ejecutado a 100 iteraciones. Por lo tanto, se estima que el algoritmo otorga resultados satisfactorios realizando 40 iteraciones. Aunque para el espectro continuo se haya obtenido mejor desempeño, el propósito de trabajar con las longitudes de onda seleccionadas (espectro muestreado) consiste en la reducción de cómputo para la recuperación de los componentes principales, al momento de procesar imágenes multi-espectrales de piel humana. Igualmente, cabe resaltar que la reducción de longitudes de ondas en un sistema multi-espectral puede conllevar al desarrollo de un sistema miniaturizado por medio de técnicas de microfabricación.

Los autores agradecen el apoyo financiero dado por el Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, bajo el proyecto P15201. También, mediante el programa Jóvenes Investigadores ITM al cual pertenece uno de los autores.

Referencias

- [1] Pérez-Gallardo, A. D. L. C. (2012). *Estudio de la Reflexión Óptica Difusa en Tejido Biológico*. Instituto Politécnico Nacional. [en línea] Disponible: <http://www.sepi.esimez.ipn.mx/electronica/archivos/acp.pdf>
- [2] Kim, S., Cho, D., Kim, J., Kim, M., Youn, S., Jang, J. E., Hwang, J. Y. (2016). Smartphone-based multispectral imaging: system development and potential for mobile skin diagnosis. *Biomedical Optics Express*, vol. 7, no. 12, pp. 5294-5307 (2016).

- [3] Galeano, J., Perez, S., Montoya, Y., Botina, D., & Garzón, J. (2015). Blind source separation of ex-vivo aorta tissue multispectral images. *Biomedical Optics Express*, 6(5), 1589. <https://doi.org/10.1364/BOE.6.001589>
- [4] Yudovsky, D., & Pilon, L. (2010). Rapid and accurate estimation of blood saturation, melanin content, and epidermis thickness from spectral diffuse reflectance. *Appl. Opt.*, vol. 49, no. 10, pp. 1707–1719. <https://doi.org/10.1364/AO.49.001707>
- [5] Zonios, G., & Dimou, A. (2006). Modeling diffuse reflectance from semi-infinite turbid media: application to the study of skin optical properties. *Optics Express*, vol. 14, no. 19, pp., 8661–8674. <https://doi.org/10.1364/OE.14.008661>
- [6] Cheong, W.-F., Prahl, S. A., & Welch, A. J. (1990). A Review of the Optical Properties of Biological Tissues. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 26(12), 20.
- [7] Morales Cruzado, B., & Vázquez y Montiel, S. (2011). Obtención de los parámetros ópticos de la piel usando algoritmos genéticos y MCML. *Revista Mexicana de Física*, vol. 57, no. 4, pp. 375–381.
- [8] Du, H., Qi, H., Wang, X., Ramanath, R., & Snyder, W. E. (2004). Band Selection Using Independent Component Analysis for Hyperspectral Image Processing. *IEEE Xplore* <https://doi.org/10.1109/AIPR.2003.1284255>
- [9] Huang, R., & He, M. (2005). Band Selection Based on Feature Weighting for Classification of Hyperspectral Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 2, no. 2, pp. 156–159.
- [10] Yang, H., Du, Q., & Chen, G. (2011). Unsupervised Hyperspectral Band Selection Using Graphics Processing Units. *IEEE Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 4, no. 3, pp. 660–668.
- [11] Prahl, S., & Jacques, S. L. (2015). *Optical Properties Spectra* [en línea] Disponible en: <http://omlc.org/spectra/>
- [12] Sons, J. W. *Engineering optimization: theory and practice*. (2009).

(SUBMISSION 21)

Exploración de datos espacio-temporales para la analítica visual en sistemas urbanos

CAMILO NEMOCÓN

JOSÉ TIBERIO HERNÁNDEZ

*Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Computación**Universidad de Los Andes**Bogotá, Colombia*

Resumen

Este artículo da a conocer el desarrollo una plataforma web que permite realizar consultas espacio - temporales, a partir de un modelo que administra la información en tres aspectos: espacio, tiempo y datos, así como de sus niveles de granularidad, lo cual permite la visualización, navegación y exploración de los datos de movilidad de la ciudad de Bogotá mediante la analítica visual.

Palabras clave: analítica visual, sistemas urbanos, movilidad, interacción, visualización, modelo de consultas.

Introducción

El crecimiento acelerado de la población y de la ciudad de Bogotá, requiere de una planeación urbana que satisfaga las nuevas necesidades de servicios e infraestructura de la ciudad, teniendo en cuenta los planes de gobierno, los

cuales cambian constantemente y dependen de las políticas elaboradas por cada mandato.

Por tanto, para un buen desarrollo y planeación urbana en torno al crecimiento de la ciudad, es necesario ver y evaluar su comportamiento actual para así tomar las mejores decisiones, planeaciones y políticas en torno a los sistemas urbanos. Para ello los expertos necesitan visualizar simultáneamente gran cantidad de datos y explorarlos para descubrir patrones, relaciones, tendencias u otras características que apoyen su posterior proceso de análisis, planteamiento de hipótesis y toma de decisiones.

Los datos que usan los expertos en planeación urbana, son datos espacio – temporales, es decir datos que varían o existen dependiendo de un determinado momento en el tiempo y de una específica ubicación [1], ya que a partir del plan de desarrollo realizado en el tiempo de mandato de un gobierno, se sacan datos que evidencian las actividades realizadas, las cuales pueden ser visualizadas por medio de sistemas de información geográficos interactivos en plataforma web para explorar estos datos.

Para el proceso de exploración de datos espacio – temporales, se necesita una herramienta de visualización interactiva web que le permita al experto la selección de los factores que son importantes para él y evidenciar su comportamiento en el espacio y en el tiempo, lo cual, le ayuda a tener una visión general de la situación, con el propósito de poder ver el estado actual y la evolución de la ciudad en términos de sistemas urbanos.

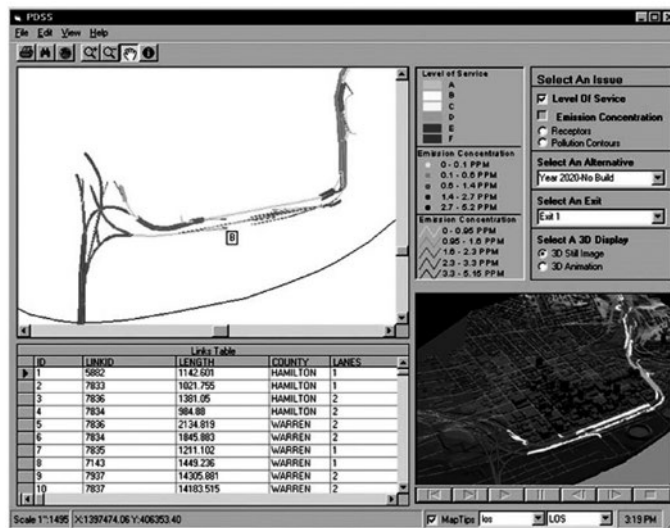
Por tanto, es importante generar una herramienta que integre los datos espacio - temporales dentro de un sistema de información geográfica, siguiendo un protocolo que ayude a determinar la calidad de estos, para su posterior uso dentro de un sistema de modelado y visualización de datos [2], ya que a partir de su validación se pueden tomar decisiones y realizar análisis por medio de aplicación web que vincule la analítica visual para generar hipótesis y conclusiones que apoyen la tarea de planeación urbana.

Trabajo relacionado

En el área de sistemas urbanos y analítica visual, se encuentran trabajos de investigación para la integración de sistemas de información con fines de simulación y planeación, como es el trabajo de [3] cuya aplicación llamada CAL3QHC, integra los sistemas de información geográfica como ArcGis, con simuladores de tráfico y simuladores de calidad de aire, generando visualizaciones pertinentes para los expertos, sin embargo el usuario debe generar los

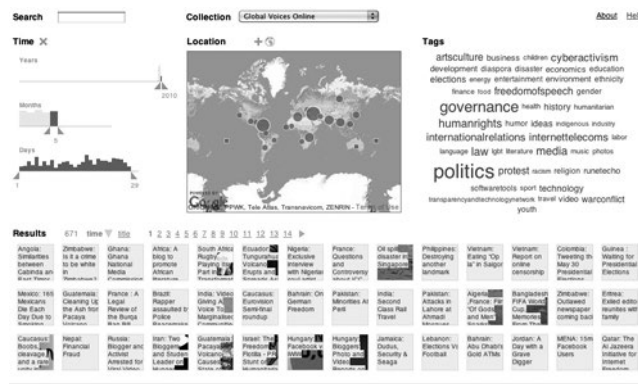
datos en cada simulador para ser integrados en la aplicación, lo cual genera un aumento en el tiempo en la preparación de los datos para la visualización de cada tema a analizar, y no permite la visualización web centrada y limitando la información y la toma de decisiones.

Fig. 1
CAL3QHC Sistema de análisis del tráfico



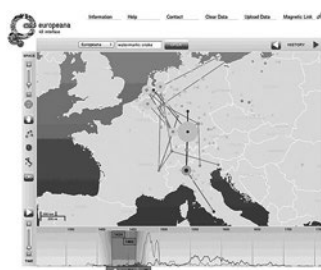
Otro proyecto de vinculación de analítica visual y Big data es VisGets [4], donde se centran en el desarrollo de una interfaz web para formular consultas sobre los datos, en el que se muestra un listado con las respuestas de las consultas utilizando widgets de consulta interactivos, sin embargo, la visualización de las respuestas no es clara y es limitado para la visualización de datos heterogéneos.

Fig. 2
Interfaz de VisGets



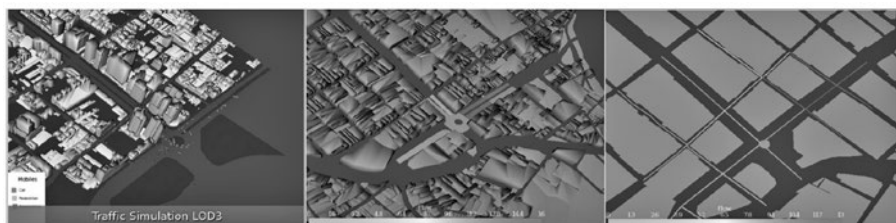
También encontramos otra aplicación llamada Europeana Connect [5], a través de la cual se puede obtener información relevante frente a tópicos históricos dependiendo de la ubicación y el momento en el tiempo consultado, permitiendo visualizar espacial y temporalmente la información de un tópico específico, sin embargo, no permite la relación de temas que podrían ser importantes para el usuario.

Fig. 3
Interfaz de Europeana Connect



Por otro lado un proyecto que plantea no solo una visualización interactiva sino un modelo de manejo de datos enfocado hacia la planeación urbana es el desarrollado por J.Triana [6] mediante un modelo que integra información Visum, Arc Gis y Excel para la visualización y combinación de los escenarios del flujo del tráfico con el uso del suelo.

Fig. 4
Simulación del tráfico



Diseño e implementación

Diseño del modelo de manejo de datos

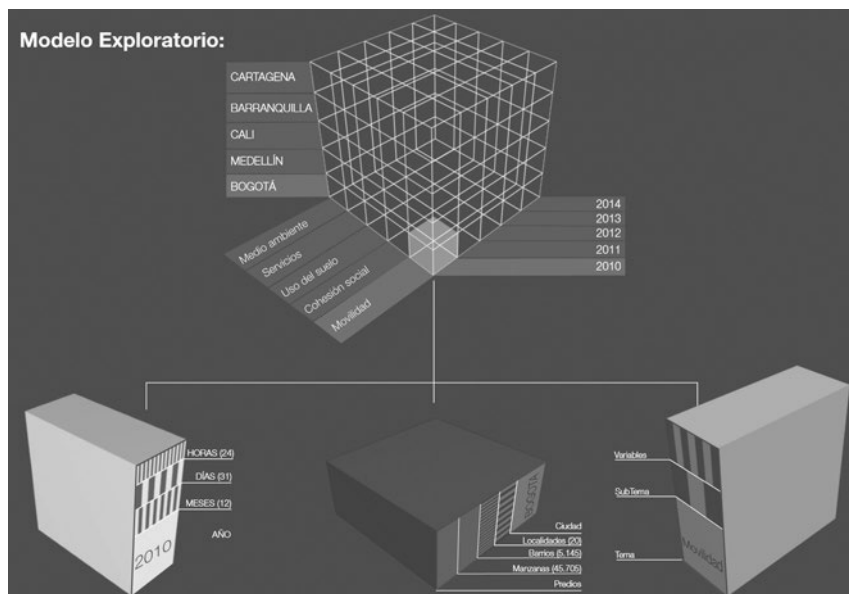
Se utilizó como base y referencia el modelo de consultas de D. Peuquet [7], que permite considerar todos los componentes de los datos y ayuda a expresar restricciones de consulta espacio - temporales por medio de las preguntas que facilitan la expresión de las consultas. A partir de éste, se desarrolló un modelo que maneja los datos permitiendo la navegación, el filtrado y la exploración de

datos manejando cada uno de sus componentes de forma independiente, con lo cual el experto en el área de sistemas urbanos puede seleccionar tres tipos de componentes de interés (espacio, tiempo y atributos) para observar los datos de un periodo de tiempo a otro, a partir de la selección de una o varias ubicaciones en donde se visualizan únicamente las variables de contexto de interés.

El modelo exploratorio es en una estructura que genera el desacoplamiento del espacio, tiempo y atributos, y sus niveles de granularidad, permitiendo la visualización y exploración para la lectura, búsqueda y filtrado de los datos por medio del *semantic zoom* y la desagregación de los datos, permitiendo acceder a éstos desde sus diferentes niveles.

El modelo apoya la tarea de análisis de exploración de datos mostrando la información solicitada y eliminando de la vista del usuario los datos que no se ajusten a las restricciones de consulta, permitiendo además la combinación entre los niveles de granularidad que poseen los datos temporales y espaciales ya que cada celda del cubo representa un objeto espacial asociado a un atributo en un paso en el tiempo y dentro de cada uno se puede mostrar sus niveles de granularidad.

Fig. 5
Modelo exploratorio



El modelo permite generar respuestas sobre los filtros de los datos realizados por el usuario, y sobre estos resultados se pueden realizar nuevas consultas, permi-

tiéndole al usuario analizarlos con otros parámetros, plantear nuevas hipótesis y generar un análisis sobre cada una. Este sistema de *grafos* y consultas permite devolverse a anteriores consultas para retomarlas y plantear otras hipótesis con diferentes parámetros, generando finalmente un historial de las consultas realizadas por cada usuario.

Implementación y aplicativo web

Las figuras deben ser lo más representativas, claras y legibles posible. Se recomienda utilizar una resolución de al menos 800 dpi (preferiblemente 1200 dpi). Las figuras deben estar numeradas de manera consecutiva y con el epígrafe correspondiente debajo de ella. Solamente el rótulo y número de la imagen irá en negrita (Fig. 1). La herramienta interactiva web permite la implementación del modelo para resolver la tarea de análisis de la exploración de los datos, dando resultados visuales e interactivos de estos. La exploración de los datos se realiza a través de consultas mediante el uso de preguntas, las cuales se generan a partir del filtrado de los ejes temporales, espaciales o de atributos y de la selección de uno o varios datos en sus distintas granularidades.

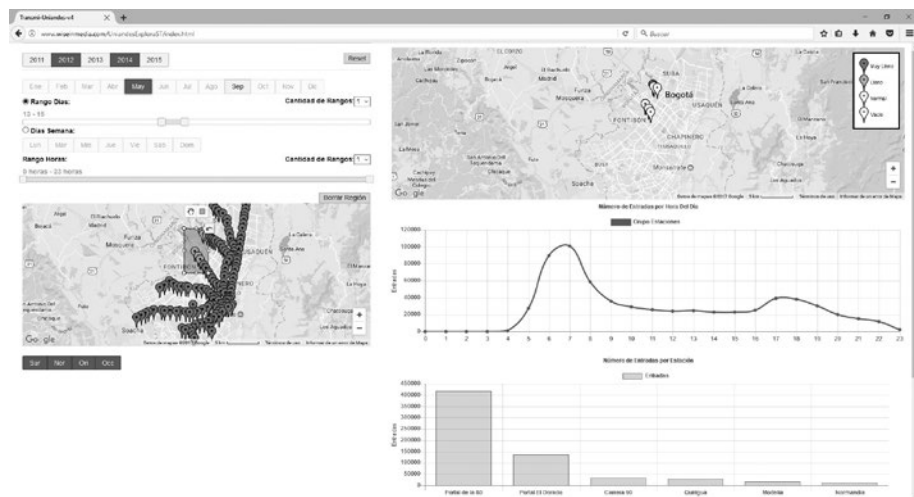
El desarrollo de la aplicación web se realizó con base de datos SQLite utilizando procesos que permiten una descarga y búsqueda rápida de las consultas que pueda realizar el usuario, sobre una base de datos que inicialmente tenía un peso de 98MB y fue optimizada a 18MB mediante el navegador, el cual descarga la versión comprimida, permitiendo una carga de la página rápida y luego se descomprime con Javascript, mostrándole al usuario un *overlay* o capa de inicio, en donde se muestra un temporizador, que evidencia el progreso de la descarga y descompresión de los datos, y la configuración de la base de datos para posteriormente empezar a interactuar con la página.

Las tecnologías utilizadas fueron Javascript y SQL.js, implementadas junto a SQLite, este sistema es finalmente un manejador de base de datos en memoria donde todo el proceso corre en memoria por el lado del cliente, de ésta forma todas las consultas y procesos se realizan en el navegador del cliente, mientras que el servidor solo funciona como un repositorio de archivos e información, ya que toda la lógica se implementa en el `index.html` de la página web.

El sistema utiliza los índices de las tablas de la base de datos para realizar las consultas permitiendo una velocidad de respuesta entre consulta y consulta de 200 milisegundos o menos, mediante las entradas de espacio, tiempo y atributos, y utilizando como componente un *time out* que se resetea cuando se interactúa con cualquier elemento de la interfaz. Esta última realizó con Bootstrap, el cual ayuda a darle la estructura a la página para que sea *responsive* y permita ubicar

los elementos de consulta y respuesta. Así mismo se utilizó la librería de JQuery para el manejo de los componentes gráficos e interactivos de la interfaz.

Fig. 6
Aplicativo web



Basados en el proyecto “Visualization of origin-destination matrices” [8] donde se analiza el comportamiento del tráfico y transporte a partir del uso de dos mapas coordinado y su conexión a un *bar chart*, se plantea el área espacial y el mapa focalizado, generando una interacción directa entre los datos generales y los filtrados por el usuario que se ven reflejados en los gráficos de utilidad.

Por tanto la visualización web está compuesta por dos áreas: al costado izquierdo se encuentra área de consultas y al costado derecho está área respuestas. En la primera el usuario se centra en la selección de ítems espacio, tiempo y atributos, para filtrar la información que es mostrada en el área de resultados, donde se evidencian puntualmente los lugares de interés para el usuario y muestra su información individual en la parte superior de esa área, mientras que en la parte inferior se muestran los resultados en conjunto, para que el usuario pueda comparar los resultados de su selección y exploración de forma conjunta vs. el resultado individual de cada componente espacial seleccionado.

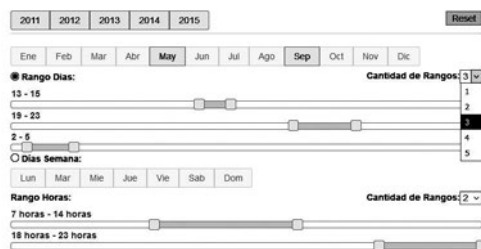
Área de consultas

En el área de consultas se ubican los tres tipos de componentes de interés (espacio, tiempo y atributos) con sus respectivas granularidades, permitiendo al usuario tener una vista general de los datos que posee y sobre estos poder realizar las consultas en los tres componentes, donde cada uno tiene una forma

de visualización e interacción diferente para realizar consultas y filtrados sobre los datos.

Temporal

Fig. 7
Área de consulta temporal



Este componente se basó en el proyecto STRAD (Spacio-Temporal-Radar) [9] en el que se puede realizar consultas temporales en sus distintas granularidades, por tanto, en la parte superior de esta área, se encuentran los botones correspondientes a los años, donde el sistema coloca automáticamente la cantidad de botones de acuerdo a la cantidad de años que hay en la base de datos, luego está la granularidad de los días, que permite seleccionar un día a la semana, un día del mes o un rango de días del mes, así mismo permite generar varios *slider* para poder seleccionar diferentes rangos de días en el mes, al igual que rangos de horas, permitiendo la mayor flexibilidad en la selección temporal y utilizando los modos exploratorios del modelo.

Espacial

Fig. 8
Área de consulta espacial



Aquí se pueden ver los puntos espaciales de los que se poseen datos, ubicándolos sobre un mapa, a partir de la latitud y la longitud. Los puntos rojos correspon-

den a los puntos seleccionados por el usuario y los azules los que no han sido seleccionados.

El usuario tiene dos opciones de selección espacial; una permite la selección puntual de ubicaciones específicas y la otra permite la selección de ubicaciones dentro de un área rectangular.

Atributos

Fig. 9
Área de consulta de atributos



En este están los botones correspondientes a los atributos de los datos, donde para este caso de estudio, se encuentran los accesos a las estaciones. Mediante estos botones el usuario puede seleccionar uno o más accesos para observar la cantidad de personas que ingresaron por cada acceso.

Área de resultados

Está compuesta por dos elementos: un mapa focalizado y un sector de gráfico de utilidad que se encuentra abajo del mapa. Ambos sectores se activan simultáneamente cuando el usuario realiza las consultas de espacio, tiempo y atributos, mostrando los resultados generados por cada selección que se realiza en el área de consulta.

Mapa focalizado

Fig. 10
Mapa focalizado



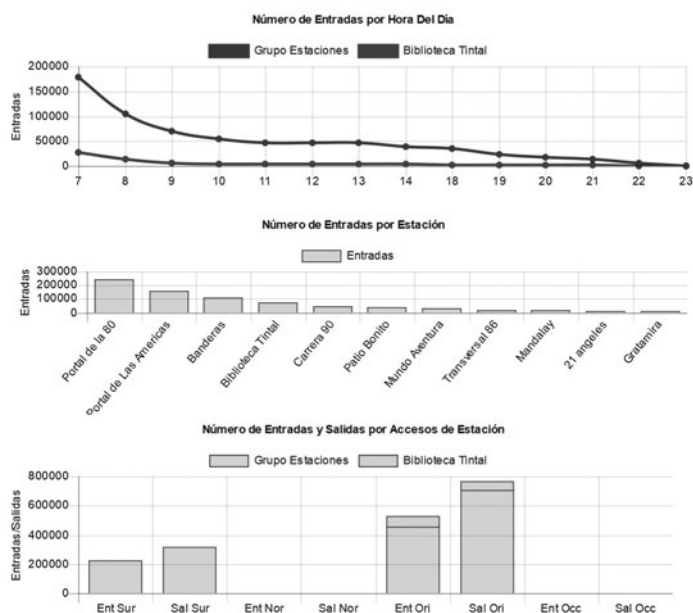
En la parte superior del área de resultados se encuentra un mapa donde se visualizan las ubicaciones espaciales de interés para usuario, es decir; las estaciones seleccionadas por él en el área de *consulta espacial*. De esa forma aparecen

las estaciones con la información su interés de forma individual, por tanto el usuario puede seleccionar cada una de las estaciones, y a su vez le mostrará las características y la información puntual de cada ubicación.

Así mismo, cada punto espacial visualizado tiene un color que determina la cantidad de un atributo ordenando de mayor a menor y el valor del atributo en cada punto espacial, de esta forma el atributo con mayor valor generará un color rojo, el siguiente atributo con un valor menor tendrá el color naranja, mientras que los colores amarillo y blanco se reservan para el atributo con menor valor entre los puntos espaciales seleccionados y comparados.

Gráficos de utilidad

Fig. 11
Gráficos de utilidad



Las gráficas de utilidad son los diagramas que se encuentran abajo del mapa de resultados. Estas permiten distintos análisis sobre los mismos datos, lo cual ayuda a ver diferentes enfoques de la información y su retroalimentación automática de acuerdo a la interacción que se tenga sobre el área de consulta y el mapa focalizado.

Las gráficas de utilidad representan el resultado colectivo o total de las ubicaciones seleccionadas por el usuario vs. los atributos seleccionados por el usuario, sin embargo estas cambian dinámicamente, cuando el experto toca una ubicación

en el mapa focalizado, ya que en el área de utilidad se van a ver reflejados los resultados de esa ubicación en particular vs. los datos acumulados de todas las ubicaciones seleccionadas, para así evaluar el comportamiento de la ubicación en comparación con las demás.

Conclusiones

- La herramienta web cumplió con el objetivo de implementar el modelo y permitir al usuario realizar consultas complejas y detalladas mediante una expresividad visual, a través del diseño de la visualización y el uso de controles intuitivos y fáciles de utilizar.
- El sistema web es versátil y liviano, por tanto necesita de poca infraestructura, bajo presupuesto y poco tiempo de montaje.
- El modelo de consultas existentes permitió ver una vista general de los datos en todas sus granularidades, sin tener que entrar a explorarlos, permitiéndole al experto una introducción de los datos que posee para realizar su análisis.
- Como trabajo se propone aumentar las funcionalidades gráficas para la representación de los resultados a parte del diagrama de barras y el *scatterplot*.
- Generar un historial y un sistema de anotaciones en donde se puede evidenciar todas las decisiones de consulta y sus respectivas respuestas para que el usuario pueda realizar nuevas consultas a partir de las consultas realizadas por otro experto.

Referencias

- [1] Gennady Andrienko, Natalia Andrienko, "Space, time and visual analytics," *International journal of geographical information science*, vol. 24, no. 10, pp. 15-77. 2010.
- [2] Wolfgang Aigner, S. M. *Visualization of Time-Oriented Data*. Springer, 2011.
- [3] Xinhao Wang, "Integrating GIS, simulation models, and visualization in traffic impact analysis", *Computers, Environment and Urban Systems*, pp. 496, 2005.
- [4] M. Dork, S. Carpendale, "VisGets: Coordinated Visualizations for Web-based Information Exploration and Discovery," *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 14, no.6, Oct 2008.

- [5] Max Kaiser, "EuropeanaConnect," *eContentplus* programme, a multiannual Community program to make digital content in Europe more accessible, pp. 65, 1994.
- [6] Triana, J. A., Zeckzer, D., & Hernandez, J. T. (2013, August). A novel data model to empower a visual analytics platform for urban systems. In *Computing Colombian Conference (8CCC), 2013 8th* (pp. 1-6). IEEE.
- [7] D. Peuquet, "It's about time: Framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems", *Annals of the Association of American Geographers* vol. 84, no. 3, Sep. 1994.
- [8] Ibarra, J. C., Triana, J. A., & Hernández, J. T. (2016, April). Visualization of origin-destination matrices using a connection barchart and coordinated maps. en *Pacific Visualization Symposium (PacificVis), 2016 IEEE* (pp. 189-193). IEEE.
- [9] Fernandez-Prieto, D., Naranjo-Valero, C., Hernández, J. T., & Hagen, H. (2017). STRAD Wheel: Web-Based Library for Visualizing Temporal Data. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 37(2), 99-105.

1 11
2 0010
3 GESTIÓN
4 DE LA 0001
5 **INFORMACIÓN**
6 Y DEL 101010
7 CONOCIMIENTO
8 1110
9 01

(SUBMISSION 177)

Modelo de simulación de agentes para describir las capacidades en investigación de las universidades colombianas

VÍCTOR ANDRÉS BUCHELI

FABIÁN ANDRÉS CANO

*Universidad del Valle**Santiago de Cali, Valle del Cauca*

Abstract

The aim of this paper is to study the relationship between the knowledge production of colombian universities and their accumulation of research capabilities. We assume that the accumulation of capacity occurs in the research groups. It is modelling (agent-based model) the comparative advantages by the groups, it is observed experimentally significant differences in the colombian universities. The results show that the different types of growth of universities publications can be explained by a process of cumulative advantages and the process does not depend on competition of resources.

Palabras clave: universidades, acumulación, capacidades, publicaciones, grupos de investigación, modelo, agentes.

Introducción

El objetivo de este trabajo es identificar las relaciones subyacentes al proceso de acumulación de capacidades en investigación colombiana y cómo estas afectan la producción de conocimiento de las universidades.

En el caso colombiano, es posible identificar distintas dinámicas en cuanto a producción se refiere, incluso es posible encontrar crecimientos exponenciales sostenidos durante el tiempo [1]. Pero, ¿qué genera los diferentes comportamientos en las curvas de producción y qué dinámicas subyacentes al proceso de producción, permiten el crecimiento exponencial sostenido durante el tiempo. Para responder estas preguntas, se propone mediante un modelo de simulación de agentes, estudiar los procesos de realimentación de una universidad, como un proceso de ventaja acumulativa, propiciada por un agente interno a esta, el grupo de investigación.

A partir de diferencias en el número de grupos de investigación y en las capacidades en investigación, este trabajo propone estudiar el efecto que estas características tienen en la tendencia de las curvas de publicaciones de las universidades. Los resultados evidencian, que las distintas curvas de producción pueden ser explicadas por un proceso de ventajas acumulativas. Además, se presenta evidencia de que dicho resultado no depende de la competencia por recursos, y que existen condiciones adicionales para que un crecimiento exponencial suceda.

Este trabajo se organiza en cuatro secciones. La primera sección, presenta un marco teórico y una corta revisión del estado del arte en cuanto a modelos de simulación de agentes enfocados en ciencia. La segunda sección, una descripción del modelo desarrollado para este trabajo. La tercera sección, presenta los resultados de los experimentos realizados sobre el modelo en forma gráfica. La última sección, presenta la discusión y el trabajo futuro.

Marco teórico y estado del arte

En [2] se propuso un crecimiento logístico para la ciencia. En [1], a partir de una revisión de las publicaciones académicas de las universidades colombianas entre 1958 y 2008, se pudo evidenciar la existencia de distintas dinámicas de crecimiento en las universidades nacionales. Ellos sugieren, como explicación a los distintos tipos de crecimiento, la acumulación de capital intelectual en cada universidad. Pero ¿es posible modelar esta situación desde otra aproximación?

En [3], se define una distribución de ventaja acumulativa. Ésta modela estadísticamente la situación en la que el éxito genera más éxito. En la ciencia, esta dinámica sucede porque el fracaso al publicar no es un evento, por lo tanto, no hay efecto sobre la probabilidad de éxito posterior. En este trabajo se propone estudiar el efecto que tienen los grupos de investigación en la ventaja acumulativa de una universidad, ya que es en estos donde se desarrolla e institucionaliza la investigación [4]. Su importancia deriva en que, la estrategia para sustentar

el desarrollo del sistema de ciencia y tecnología, ha sido la de promover la organización de los sistemas de investigación de las distintas instituciones científicas, especialmente las universitarias, alrededor del concepto de grupos de investigación. Esta estrategia se ha desarrollado mediante el establecimiento de una convocatoria nacional que no es más que un sistema de registro, reconocimiento y escalafonamiento de los grupos en todo el territorio nacional. El reconocimiento de un grupo depende de indicadores basados en la producción, aunque año a año se han venido ajustando.

Las ventajas y visibilidad de los grupos de investigación tienen efecto a nivel institucional. A partir de datos de [5] y [6], se construyó la información presentada en la Tabla 1, en la cual puede observarse que las universidades con mayor número de grupos de investigación corresponden también a universidades con la más alta producción científica a nivel nacional. Se propone entonces, utilizar la aproximación basada en acumulación de capacidades a partir de los grupos de investigación como base para el modelo implementado en este trabajo.

Tabla 1

Top de universidades por num. de grupos de investigación y el porcentaje que sus publicaciones representan para el acumulado del país, año 2016

Universidad	Número de grupos reconocidos	% de publicaciones del país
Universidad Nacional de Colombia	571	22.365%
Universidad de Antioquia	268	13.730%
Universidad del Valle	166	7.216%
Universidad de los Andes	152	10.792%
Pontificia Universidad Javeriana	120	5.490%

Los modelos basados en agentes se rigen fundamentalmente por la noción de que la totalidad de un sistema es mayor que la suma de las partes [7]. Su uso en la educación superior se ha incrementado sustancialmente desde el año 2009, con al menos 35 artículos que involucren modelos con problemáticas en esta área [8]. Se tienen trabajos como [9], que intenta reproducir relaciones observadas en la actividad científica, [10] donde se toman demasiado en serio la cognición del investigador, o [11] donde tratan de darle un sentido al paisaje que los investigadores recorren en la búsqueda de conocimiento. Otros trabajos como [12], [13], [14], [15], involucran una exploración apoyada en el análisis de redes de innovación, esto permite analizar qué contribución genera la cooperación en el sistema de ciencia y tecnología. En [16], incluso se estudia cómo a partir de micro incentivos surgen distintas topologías que generan distintos efectos en el crecimiento de la innovación. Sin embargo, el uso de estos modelos en el área

de la educación en Colombia es aún muy limitado, a pesar de las características tan adecuadas que posee para modelar procesos científicos [17].

Modelo de simulación de agentes

Detalles del modelo

El agente escogido, fue el grupo de investigación. Los atributos de este son: la energía, que es un recurso consumido al moverse por la grilla; el número de publicaciones; la universidad a la que se encuentra asociado y la probabilidad de éxito al publicar. Dado el conocimiento limitado que se tiene acerca de los grupos de investigación en Colombia, el modelado del proceso cognitivo de estos es una tarea compleja, digna de un trabajo completo. Por esta razón, el comportamiento fue definido como un proceso incidental, representado por una caminata aleatoria. Siendo, el consumo de energía al moverse, la existencia de recursos y la probabilidad de éxito de la universidad a la que pertenece, los aspectos de verdadera relevancia para su labor productiva.

Las relaciones entre los agentes se basan en el aprendizaje institucional, este produce una ventaja acumulativa hacia y desde los grupos de investigación. De esta manera, los grupos que pertenecen a una misma universidad comparten una misma probabilidad de éxito, pero conservan distintos valores de energía que determinan su continuidad en la simulación. Los recursos usados para la labor científica son representados como un valor numérico binario, que denota el número de *papers* en cada cuadrícula de la grilla. Se definen dos variaciones para la existencia de recursos; una sin competencia, donde los recursos siempre están disponibles y no son consumidos, y otra con competencia, donde se llena totalmente la grilla de recursos, y estos desaparecen permanentemente al ser consumidos.

Entradas del modelo

Las entradas del modelo y los valores usados para la fase experimental son presentados en la Tabla 2, las cadenas entre paréntesis son apodos que se usarán durante el resto del documento para nombrar dicho valor de entrada.

Las entradas de probabilidad inicial e incremento de probabilidad, corresponden a valores muy bajos, dado que es el desarrollo de la probabilidad de éxito acumulada, el objeto de estudio en este trabajo. La grilla es cuadrada, sin límite vertical ni tampoco horizontal, los valores G1 y G2 fueron escogidos, dado que se buscó un equilibrio para el fenómeno de competencia, es decir ni muy pocos recursos ni tampoco demasiados. El número de grupos de investigación

por universidad se determinó con base en datos reales del caso colombiano, sin embargo, valores demasiado bajos no fueron tenidos en cuenta, dado que no generaban las condiciones para que la ventaja acumulativa se diera.

Tabla 2
Valores de entrada para la fase experimental

Universidades	8			
Energía inicial	100			
Grupos de investigación	100(C)		1000(M)	
Tamaño de la grilla	100X100(G1)		1000X1000(G2)	
Probabilidad inicial de éxito	1.0E-2(I1)	1.0E-3(I2)	1.0E-4(I3)	
Incremento de probabilidad de éxito	1.0E-3(P1)	1.0E-4(P2)	1.0E-5(P3)	0(P4)

La energía inicial por grupo de investigación define el número de iteraciones de la fase de preacumulación, por esta razón se escogió un valor que permitiera la aparición de ventaja acumulativa, pero que no distorsionara la presión selectiva que se esperaba surgiera con la competencia. Finalmente, el número de universidades en la simulación se definió, con base en la combinatoria de entradas de características propias de una universidad, número de grupos de investigación e incremento de probabilidad de éxito para este caso, esto permite observar en una misma simulación el efecto que tienen estas características frente a otras.

Detalles técnicos

Para la implementación del modelo se usó Netlogo (Versión 5.2.1), dada la facilidad de uso y la documentación extensa que posee [18]. Los experimentos se realizaron en un equipo de uso personal, con procesador Intel Core i3 y con una asignación de 3GB de memoria RAM para dicho proceso. Se realizaron cien simulaciones sobre cada modelo, y se promediaron los resultados. Para el primer modelo el tiempo de simulación para toda la fase experimental corresponde a aproximadamente cinco minutos, mientras que para el modelo con competencia, es aproximadamente 14 minutos.

Resultados

Los resultados se muestran en las figs 1 y 2, que para ambas variaciones del modelo, los diferentes valores de incremento de probabilidad de éxito y el número de grupos de investigación, definen distintas tendencias de crecimiento en las publicaciones académicas para cada universidad. Sin embargo, el uso de una

grilla 100 x100, no permite la aparición de un crecimiento exponencial, esto puede explicarse por la proporción tan baja de papers con respecto al número de grupos.

Fig. 1

Curvas de producción de las universidades para el modelo sin competencia

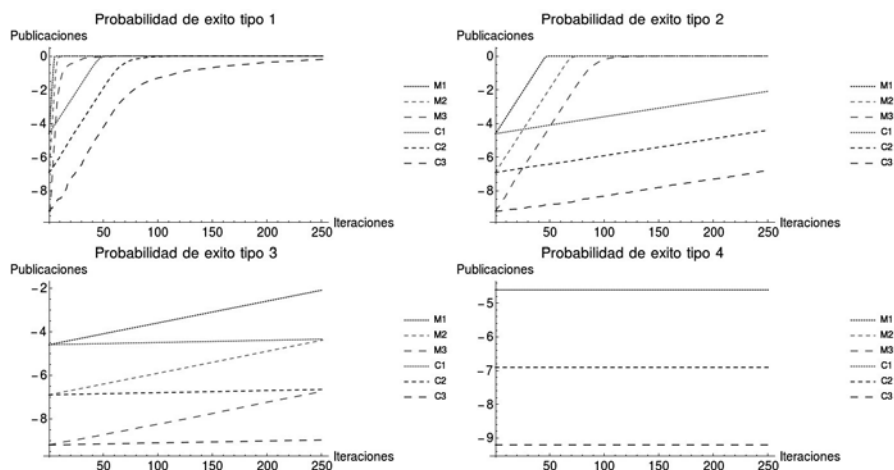
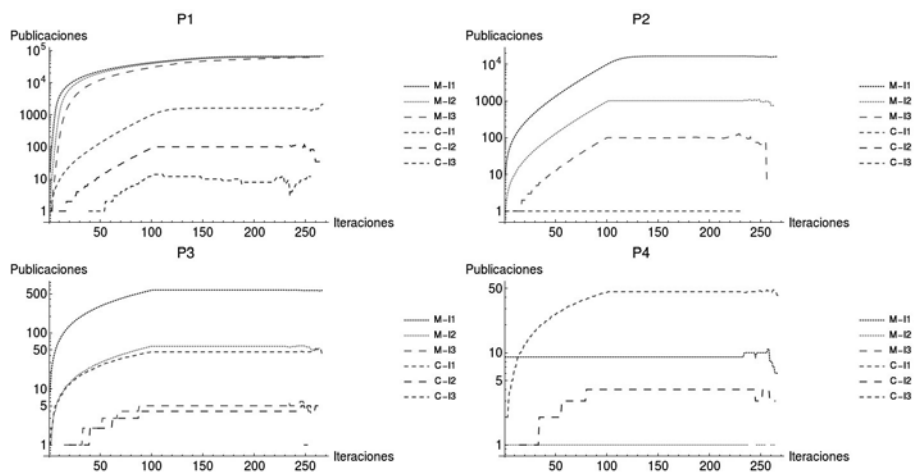


Fig. 2

Curvas de producción de las universidades para el modelo con competencia en una grilla 1000x1000



En la Fig. 3, se observa la relación entre *producción* e *incremento de probabilidad*, la cual presenta el mismo comportamiento para el modelo sin competencia y con competencia. Sin embargo, es posible percibir distintas tendencias en la relación antes presentada, lo cual parece tener relación con los valores de

probabilidad inicial. En la Fig. 4 se presentan los resultados de P1 separados por los valores I1, I2 e I3.

Fig. 3
Probabilidad de éxito acumulada vs Publicaciones acumuladas
para ambos modelos con una grilla 1000x1000

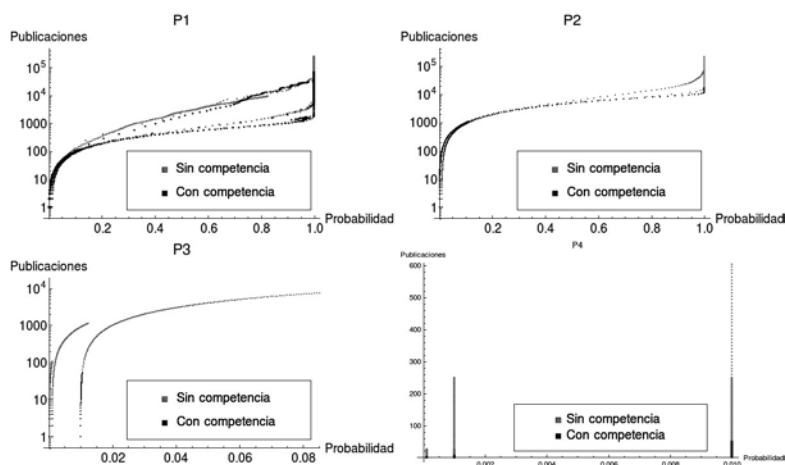
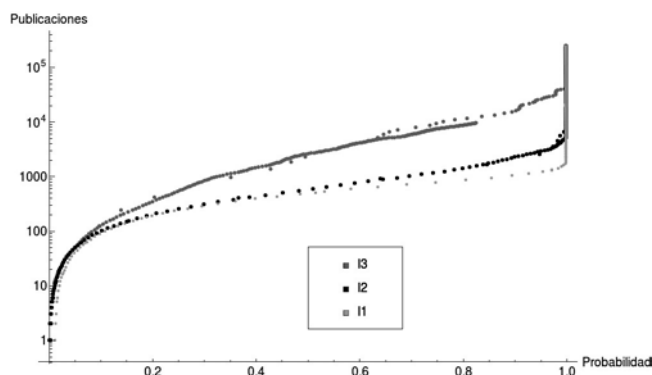


Fig. 4
Probabilidad de éxito acumulada vs Publicaciones acumuladas para P1



Conclusiones

En este trabajo se identifican ocho tipos de universidades, de acuerdo con el número de grupos de investigación y a la capacidad de obtener ventaja, la cual es representada por el valor de incremento de la probabilidad de éxito. La relación entre estas dos variables combina el enfoque en grupos de investigación del sistema de ciencia y tecnología colombiano y consideraciones acerca de los procesos de ventaja acumulativa. De acuerdo con los resultados, esto propicia

distintas tendencias de crecimiento, tanto en la forma de la curva, como también en la velocidad de aparición de dicho crecimiento. De esta manera se reproducen patrones encontrados en los datos empíricos para las universidades colombianas, para ambas versiones del modelo. Esto lleva a pensar, que la formación de dichas tendencias de crecimiento y de velocidades distintas de aparición, no es una característica que dependa de fenómenos de competencia. Sin embargo, el crecimiento exponencial requiere de condiciones adicionales en cuanto a cantidad de recursos se refiere, esto tiene relación con el número de *papers* por grupo que se encuentran disponibles de acuerdo con el tamaño de la grilla.

Por otra parte, las diferencias de producción entre las universidades de tipo C y M, muestran un incremento al incluir la competencia en el modelo, esto es fácilmente explicado por la desventaja que genera el tener menos grupos de investigación. Esto resulta de gran importancia para analizar una característica, ampliamente estudiada en la ciencia, la distribución de productividad. Aún, cuando los resultados de distribución de productividad para las universidades presenten cercanía con datos empíricos, queda evaluar si este mismo resultado ocurre para los grupos de investigación, dado que el modelo sin competencia genera una fuerte homogeneización entre los agentes de una misma universidad.

Para finalizar la discusión, se introduce el conocido límite al crecimiento. Este puede estar dado por condiciones como el número de recursos disponibles en el ambiente, pero estructuralmente se observa que a pesar de que los recursos existan, una universidad no puede crecer infinitamente. La relación observada entre crecimiento de la probabilidad de éxito y las publicaciones, permite explorar de cierta manera lo anterior. Los resultados muestran, que el aprovechamiento de la probabilidad de éxito es realizado de mejor manera por las universidades con desventaja inicial. Esto, permite que universidades con bajos recursos o poca trayectoria puedan competir de cierta manera contra las ya desarrolladas. Esta característica resulta de suma importancia, ya que limita los alcances de desigualdad que pueden darse entre instituciones, e incentiva de cierta manera la mejora en los procesos científicos.

Se propone como trabajo futuro, realizar un análisis formal de los datos frente a las regularidades expuestas en la ciencia, esto incluye [19] y algunas de las encontradas en [2]. Lo anterior, requiere también que se obtengan valores reales acerca de la productividad de las universidades y los grupos de investigación en Colombia con el fin de contrastar datos empíricos, datos teóricos y datos aportados por el modelo. Adicional a esto, se propone explorar el uso de las redes complejas, lo que permitiría estudiar otros fenómenos como la colaboración y la construcción de ventaja acumulativa desde otras unidades académicas.

Referencias

- [1] Bucheli, V., Díaz, A., Calderón, J.P. et al. (2012) Growth of scientific production in universities: a model based on intellectual capital accumulation, *Scientometrics* vol. 91, no. 369. doi:10.1007/s11192-012-0627-7
- [2] Price DJ de Solla (1963) *Little science, Big science*, Columbia University Press.
- [3] Price DJ de Solla (1976). A general theory of bibliometric and other cumulative advantage process, *Journal of the American Society for Information Science*.
- [4] Colciencias (2002) *Documento conceptual - VI convocatoria a grupos colombianos de investigación científica y tecnológica* [en línea] Disponible en: http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/terminos-referencia-convocatoria-grupos-investigacion-e_investigadores-2017_consulta.pdf
- [5] Colciencias (2016) *Documento conceptual - VI convocatoria a grupos colombianos de investigación científica y tecnológica* [en línea] Disponible en: http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/terminos-referencia-convocatoria-grupos-investigacion-e_investigadores-2017_consulta.pdf
- [6] Web Of Science (2017) [en línea]. Disponible en: <https://apps.webofknowledge.com/>
- [7] North M. J., Macal C. M. (2007), *Managing Business Complexity: Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*, ed: Oxford University Press.
- [8] Gu X., Blackmore K.L (2015) systematic review of agent-based modelling and simulation applications in the higher education domain, *Journal Higher Education Research & Development*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07294360.2015.1011088>
- [9] Gilbert N. (1997) A Simulation of the Structure of Academic Science, Models of Science Dynamics. *Sociological Research Online*, DOI: 10.5153/sro.85.
- [10] Naveh I., Sun R. (2007). Cognitively based modeling of scientific productivity, *Handbook of research on nature-inspired computing for economics and management*. Idea Group reference, Hershey, PA, Chap 11, pp 141-152, DOI:10.4018/978-1-59140-984-7.ch011

- [11] Muldoon R., Weisberg M. (2010). Robustness and idealization in models of cognitive labor. DOI:10.1007/s11229-010-9757-8
- [12] Gilbert N., Ahrweiler P., Pyka A. (2007). Learning in innovation networks: Some simulation experiments. *Physica A* 378(1):100-109 DOI:10.1016/j.physa.2006.11.050)
- [13] Pyka A., Gilbert N., Ahrweiler P. (2007). *Simulating knowledge-generation and distribution processes in innovation collaborations and networks*. *Cybern Syst Int J* 38(7):667-693 (DOI:10.1080/01969720701534059)
- [14] Pyka A., Gilbert N., Ahrweiler P. (2009). Agent-based modelling of innovation networks - the fairytale of spillover. en: Pyka A, Scharnhorst A (eds) *Innovation Networks. New Approaches in Modelling and Analyzing*. Springer Complexity: Understanding Complex Systems, Springer Dordrecht, pp 101-126 (DOI:10.1007/978-3-540-92267-4.5)
- [15] Pyka A., Triulzi G., Scholz R. (2014). R&D and knowledge dynamics in university-industry relationships in biotech and pharmaceuticals: an agent-based model. *International Journal of Biotechnology*.
- [16] Crespo, J., Vicente J., Amblard F. (2015). Micro-behaviors and structural properties of knowledge networks: toward a 'one size fits one' cluster policy. *Economics of Innovation and New Technology*.
- [17] Scharnhorst A., Börner K., van den Besselaar P. *Models of Science Dynamics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. (2012).
- [18] Railsback S. F., Lytinen S. L., Jackson, S. K. (2006) Agent-based simulation platforms: Review and development recommendations, *Simulation*, vol. 82, no. 9, pp. 609–623. DOI: 10.1177/0037549706073695
- [19] Lotka A. J. (1926) The frequency distribution of scientific productivity, *J Wash Acad Sci* 16. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, vol. 16, no. 12.

(SUBMISSION 132)

NUBI: aplicación móvil adaptativa que fomenta comunidad, consulta y comparte información de disponibilidad de servicios estudiantiles

CARLOS FELIPE PEÑA GÓMEZ

ÁNGELA CARRILLO-RAMOS

DIEGO FELIPE RAMÍREZ

*Carrera y Departamento de Ingeniería de Sistemas**Pontificia Universidad Javeriana**Bogotá, Colombia*

Resumen

La insuficiencia de información acerca de la localización y disponibilidad de servicios es a causa de problemas de coordinación de actividades académicas. Algunos campus universitarios presentan problemas para la movilización y búsqueda de servicios. Por lo anterior, surge la necesidad de crear NUBI, una aplicación móvil adaptativa que tiene como objetivo atender las necesidades individuales y colectivas de los estudiantes en una universidad colombiana a través de la contribución de información de la comunidad y de la coordinación de grupo.

Palabras clave: adaptación, perfil de usuario, aplicación móvil, comunidad.

Introducción

Actualmente las universidades ofrecen en campus universitarios diferentes tipos de servicios para apoyar las actividades académicas de los estudiantes. Sin embargo, se tienen algunos problemas cuando los estudiantes solicitan información, debido a que no está disponible en algún sistema de información. Además, se destaca en los estudiantes, problemas al invertir su tiempo para realizar actividades fuera de clase, debido a que tienen jornadas cortas con espacios libres de dos a cuatro horas y buscan espacios dentro del campus que, en algunas ocasiones, son mal usados (cafetería, biblioteca, entre otros), en actividades diferentes a las de su razón de ser.

Las comunidades académicas se caracterizan por ser grandes y son diversas en cuanto a condiciones físicas, culturales y étnicas. Cabe mencionar que no todas cuentan con rutas de acceso orientadas a personas con alguna restricción en su movilidad. También, los campus universitarios presentan espacios amplios con diferentes topologías, acceso al aire libre y en ciertas épocas del periodo académico, se hace imposible el uso de algunos servicios por dificultades ambientales tales como iluminación, humedad, condiciones climáticas y difícil acceso.

Las universidades utilizan distintas herramientas informativas para mostrar el estado y localización de diferentes servicios. No obstante, tales herramientas no tienen en cuenta la información contextual que está en constante cambio y se genera incertidumbre en el acceso a servicios o desconocimiento de lugares aptos para el desarrollo de actividades particulares. Para mitigar el impacto de esta problemática surge una solución innovadora, denominada NUBI (acrónimo de Navega, Ubícate, Busca e Interactúa), una aplicación móvil adaptativa que permite conocer en tiempo real la disponibilidad de servicios en un campus universitario, haciendo uso de fuentes de información no convencionales como alertas generadas por la comunidad.

Este artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección 2, se hace un análisis de algunos trabajos relacionados que presentan soluciones parciales a los problemas anteriormente descritos. Luego, se muestra en la Sección 3, el proceso realizado para el desarrollo de NUBI y proceso de validación realizado para NUBI y, para finalizar, en la sección 4, se concluye y presenta el trabajo futuro.

Trabajos relacionados

Para el desarrollo del sistema se realizó una investigación de algunos trabajos que resuelven problemas presentados en los campus universitarios de forma parcial, localización de servicios basada en las características de los usuarios,

gestores de comunidad o enfocado a las actividades administrativas de los espacios universitarios mediante alertas del personal [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Con base en estos trabajos, se realizó un cuadro comparativo teniendo en cuenta mecanismos no convencionales para obtener información tales como la participación de la comunidad en tiempo real, utilización de alertas de usuario y localización. Por otra parte, consideran características de los estudiantes con respecto a sus hábitos de rutina como actividades durante el semestre académico, sus preferencias sobre servicios a los que se quiere acceder, posibles restricciones a tener en cuenta como privacidad para mostrar su localización y condiciones físicas que restringen su movilidad.

Tabla 1
Trabajos relacionados

Aplicación	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Preferencias de disponibilidad	-	-	-	-	+	
Preferencias tiempo de atención	-	-	+	-	-	-
Restricción de privacidad	-	-	-	+	-	-
Restricciones en cond. físicas	-	+	-	-	-	+
Hábitos	+	-	-	+	-	-
Generador de comunidad	+	-	-	+	+	+
Geolocalización	+	+	+	+	+	+
Generador de alertas	-	-	-	+	+	+
Integración múltiples Servicios	+	-	-	-	-	-

De la Tabla 1 se pudo concluir que los sistemas presentados resuelven algunos problemas dentro del campus de forma parcial, por lo que los usuarios no están dispuestos a utilizar varias aplicaciones al mismo tiempo. También, la información que suministran está ligada a fuentes estáticas y de lenta actualización. Por otra parte, aplicaciones que presentan soluciones mediante geolocalización están enfocadas a mejorar movilidad y problemas en grandes metrópolis.

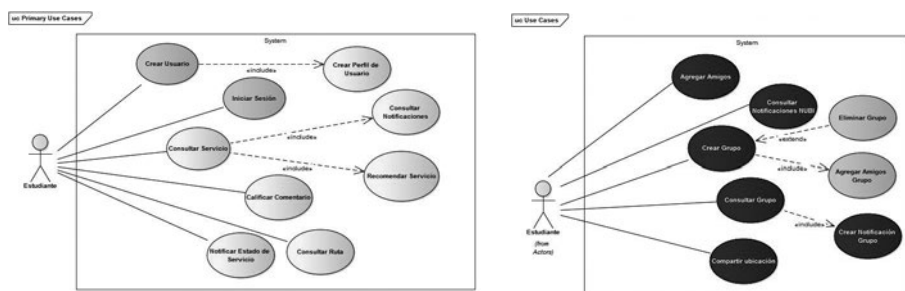
De lo anterior, surge la necesidad de crear NUBI, una aplicación móvil adaptativa que permite a los estudiantes consultar la disponibilidad de los servicios de un campus con información en tiempo real. Por otra parte, NUBI obtiene información de los estudiantes a partir de la creación de una comunidad que informe el estado de los servicios utilizando alertas. Considera las preferencias de usuario respecto a distancia en el momento de caminar en el campus, el nivel

de ocupación de los espacios, tiempos de atención características específicas de cada servicio e información del entorno y acceso de los lugares donde se prestan los servicios, con el fin de encontrar espacios adecuados para realizar sus actividades diarias durante la jornada académica. NUBI ofrece un medio para la coordinación de grupos, permitiendo buscar lugares que se acomoden a las preferencias de sus integrantes y al contexto, facilitando encontrar puntos de interés en común, buscando aumentar el rendimiento, comodidad y satisfacción de los encuentros.

NUBI

Para el desarrollo de NUBI se siguió un proceso de cinco fases; la primera consistió en seleccionar los servicios a integrar con NUBI basado en las necesidades reales de los estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana (en adelante PUJ), se seleccionaron los servicios a integrar en NUBI mediante la tabla de Volere [7], considerando factores tales como factibilidad de adaptación con la herramienta (40 %), valor para los usuarios (30 %) y dificultad de implementación (30 %). Al final se seleccionaron tres servicios: sitios de estudio, cafetería o restaurante y fotocopiado e impresión. Con los servicios seleccionados se especificaron los que iba a ofrecer NUBI y se elaboró el diagrama de casos de uso (Fig. 2).

Fig. 1
Diagrama casos de uso NUBI



A partir de los servicios seleccionados y una investigación previa de herramientas tecnológicas que permitieran implementar NUBI, se generó un modelo de adaptación para la aplicación. En la primera parte de la fase 2 se definieron las fuentes de información inicial para el modelo de datos de NUBI:

- **Investigación de servicios:** en la fase de diagnóstico se realizó una investigación de servicios, así como los lugares, horarios y restricciones o condiciones de uso.

- **Información semilla:** para resolver el problema de arranque en frío [8], se generó una fuente de datos con la disponibilidad de servicios en semanas de parciales y normales, que fueron obtenidos a través de un trabajo de campo.
- **Configuración inicial:** a partir de los perfiles de usuarios, NUBI caracteriza a los estudiantes y grupos para utilizar esta información y ajustar las sugerencias de acuerdo con sus necesidades y el entorno en tiempo real.

Con las fuentes iniciales de información definidas se construyeron los perfiles que se definen a continuación.

- **El perfil de usuario:** para el estudiante tiene como propósito, tanto identificar el hábito durante la jornada académica, las actividades y su frecuencia, así como conocer las preferencias en cuanto al acceso a los servicios, su tolerancia respecto al tiempo de espera para acceder a un lugar y ruido, entre otros. También se tuvo en cuenta si el estudiante tiene algún tipo de limitación física con el fin de mejorar la calidad de las rutas y accesos, y de esta forma, evitar sugerir lugares de difícil acceso. Adicionalmente se consideró el grado de visibilidad dentro de la aplicación para que otros usuarios pudieran encontrar al estudiante dentro del campus verificando su localización en tiempo real. Finalmente, los datos básicos del estudiante permiten conocer su carrera de estudio, franjas de horario y así recomendarle lugares a los que no se encuentra restringido su acceso o sugerir servicios en sus momentos libres.

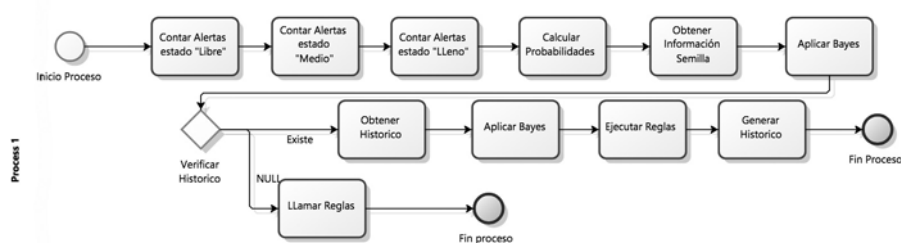
Para conocer las necesidades colectivas de un grupo que hace uso de espacios o servicios dentro del campus, se creó *el perfil de grupos* que permite identificar las preferencias colectivas para el acceso a un espacio, la intención u origen del grupo y así sugerir espacios que se ajusten a sus necesidades. Este perfil tiene en cuenta las limitaciones físicas de los integrantes con el fin de filtrar lugares en los cuales el acceso es limitado.

- **El perfil de contexto:** tiene como propósito identificar las características del entorno en el campus de la PUJ con el fin de mejorar la calidad de las sugerencias ofrecidas a los estudiantes. Del campus fue importante conocer información acerca de la localización de servicios y de los estudiantes para buscar lugares que se ajustaran a las preferencias de usuario en cuanto a su cercanía. También, los aspectos temporales que influyen en la demanda de servicios como temporadas académicas, el clima y la validez de las alertas de acuerdo a su fecha y hora de reporte. Con el fin de sugerir rutas a los usuarios a partir de sus condiciones físicas, se creó la rama de infraestructura para caracterizar caminos y la topología del campus. Finalmente se desarrollaron las ramas de la parte ambiental y reglamentación en los servicios

para sugerir espacios que estén habilitados dadas sus condiciones y posibles normas para su uso o acceso. Se obtiene además información del tipo de dispositivo de acceso (en adelante *DA*), con la que se puede ajustar la información al estudiante, y hacer uso de los sensores que estén disponibles en su *DA*. Finalmente, fue necesario conocer las características particulares de cada sitio, la capacidad e infraestructura física y tecnológica que ofrece. Durante los semestres académicos, algunos sitios pueden estar inhabilitados por obras o mantenimiento. Por esta razón, la rama de lo temporal ayuda a sugerir otros espacios.

Para mantener y actualizar la información almacenada en NUBI, se creó un mecanismo de realimentación que se muestra en el siguiente proceso (Fig. 3).

Fig. 2
Proceso de retroalimentación NUBI



NUBI maneja dos tipos de información: la primera, consiste en información dinámica y en tiempo real mediante las alertas generadas por usuarios acerca de la disponibilidad del servicio en un sitio determinado. El otro tipo de información corresponde a históricos de consulta, semilla, disponibilidad en las diferentes franjas horarias, eventos programados durante el semestre académico y de localización enviada por el *DA*.

Dadas las características de la información y el constante cambio de disponibilidad en los servicios se optó por utilizar el teorema de Bayes [9], que permite calcular la probabilidad de ocurrencia de un evento condicionado por otros eventos. La disponibilidad de un servicio va a estar relacionada con diferentes sucesos en NUBI y se modelaron así: 1) probabilidad de disponibilidad del servicio basada en las alertas o información dinámica $-P(A)-$ 2) la información semilla de disponibilidad de un lugar para un servicio dado $-P(B)-$ y 3) información basada en los históricos de disponibilidad de sitios $-P(C)-$

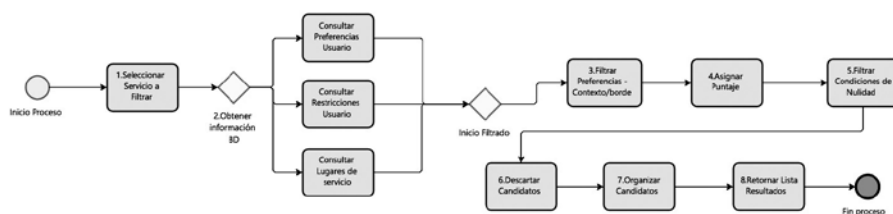
$$P(AB) = P(BA) * P(A)P(B), P(A) = \text{EventoTotal de Eventos}$$

1. Teorema de Bayes

De acuerdo a lo anterior, se calcula la disponibilidad. En caso de no existir históricos en la base de datos, ésta es calculada unicamente con la semilla y las alertas. En la Fig. 3 muestra el proceso de filtrado que realiza NUBI para sugerir servicios o espacios.

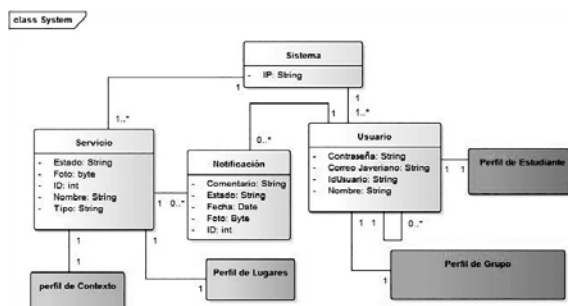
El módulo de adaptación se encarga de realizar este proceso, de la siguiente forma: en la primera etapa del proceso, el usuario, mediante el cliente ligero, genera una solicitud de filtrado para alguno de los servicios disponibles en NUBI. El servidor recibe la petición y se la informa al controlador *Módulo de adaptación*, un componente de dos partes importantes: un *controlador* (modelo) que adquiere de la base de datos la información del usuario y de los lugares donde se presta el servicio, y el *controlador de filtrado*, el cual prepara una lista de candidatos para iniciar el proceso de filtrado mediante el motor de reglas que implementa una serie de condiciones agrupadas en un componente de *software* llamado *stack de reglas*.

Fig. 3
Proceso de filtrado NUBI



A partir del modelo de adaptación se obtuvo el siguiente modelo de dominio donde las clases en gris representan el modelo de un sistema tradicional y el resto es el enriquecimiento realizado (Fig. 4). Para mayor información consultar en [10].

Fig. 4
Modelo de dominio enriquecido NUBI



NUBI presenta una arquitectura orientada a servicios REST, basada en clientes ligeros de poco procesamiento (una aplicación móvil) y la lógica pesada en un servidor de un solo nodo. Ya que NUBI presenta un modelo de datos en constante cambio, se optó por utilizar una base de datos basada en árboles AV-L no SQL lo que permitió flexibilidad y aumento en el desempeño [10].

El módulo de adaptación que se encuentra a nivel *servidor*, tiene tres grandes funciones: filtrar información de los servicios para el usuario, mantener y actualizar la disponibilidad de los sitios en tiempo real y ajustar las características de los grupos de acuerdo a las preferencias y restricciones de los integrantes. Cada servicio tiene un componente de filtrado con dos elementos, un controlador que se encarga de preparar los candidatos, solicitar los datos del usuario y del servicio mediante modelo de datos de NUBI. Por último, un archivo DRL hecho en Drools contiene el conjunto de reglas para el proceso de filtrado.

La pantalla inicial contiene un mapa, el cual muestra la ubicación actual del usuario y puntos de servicio que se ajustan a sus preferencias en una hora determinada. Este mapa también incluye la localización de los amigos o contactos que tenga el usuario en su lista (Fig. 5).

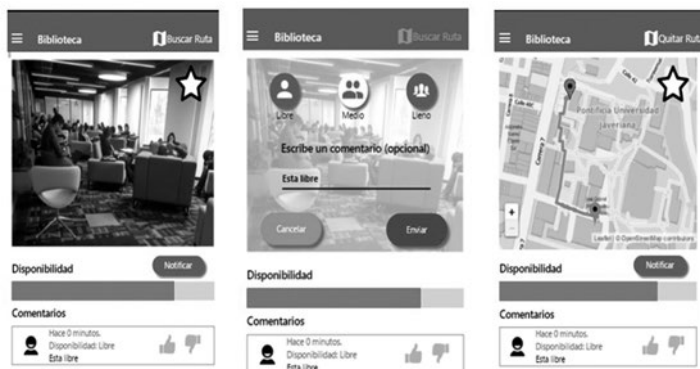
Fig. 5
Menú inicial NUBI



Cuando un usuario selecciona un servicio, el sistema le muestra las pantallas de la Fig. 6. Esta funcionalidad permite conocer en tiempo real el nivel de ocupación del sitio, la ruta óptima de acuerdo a sus preferencias y características físicas y le permite acceder al menú para compartir información y la disponibilidad a la comunidad.

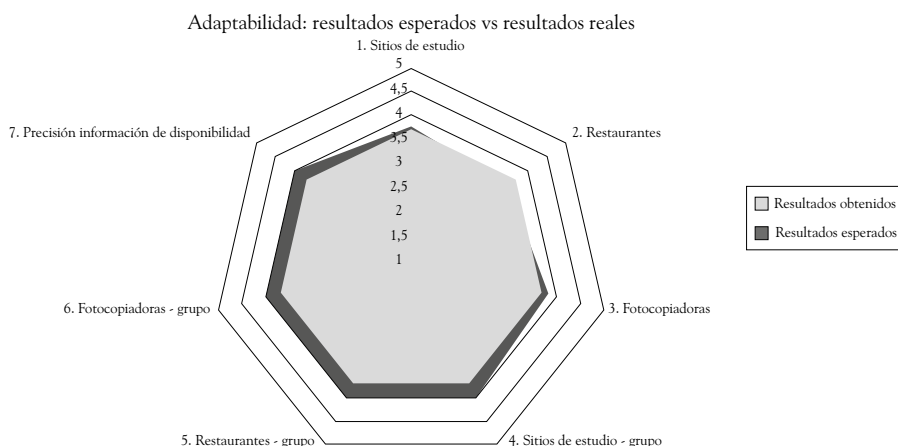
Se realizó la validación a través de un prototipo funcional de NUBI con el objetivo de conocer la calidad de la información suministrada por el modelo de adaptación, la validez de la información semilla y su operación.

Fig. 6
Información de servicio, generar alerta, consultar ruta



Del proceso de validación se destacan dos actividades que permitieron determinar la importancia de NUBI en un campus universitario. En la primera prueba, se utilizó una variante del modelo de pruebas *User Acceptance Testing-Acceptance Testing-* (en adelante UAT, por sus siglas en inglés) [11], el cual permite determinar el comportamiento esperado y el percibido del sistema por los usuarios mediante una muestra de 40 estudiantes de la PUJ con dispositivos Android. La Fig. 7 muestra el diagrama radial de los resultados obtenidos de esta prueba.

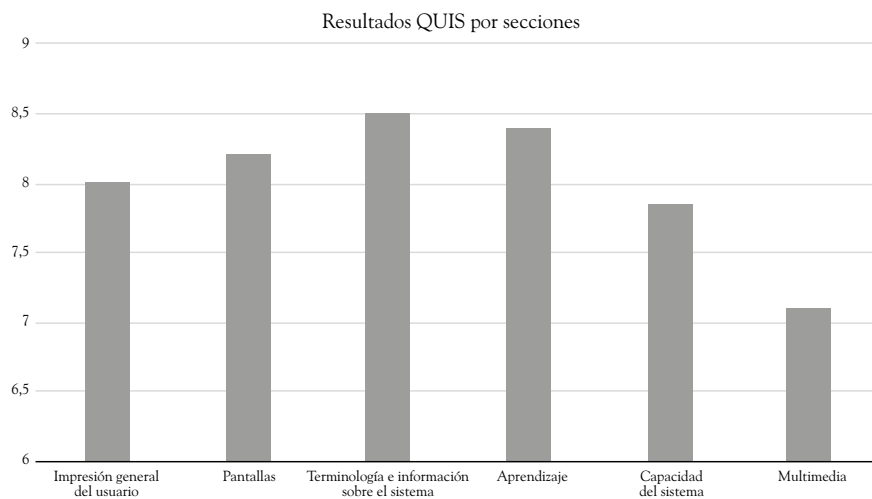
Fig. 7
Diagrama radial validación NUBI



La segunda prueba consistió en medir el grado de usabilidad alcanzado en la primera versión de NUBI, así como la experiencia de usuario y manejo de la aplicación mediante la prueba de usabilidad QUIS, que es una prueba de 30 preguntas a usuarios diferentes a los involucrados en el desarrollo para conocer

los aspectos que influyen en el uso y la presentación visual presente en NUBI [12], [13] (Fig. 8).

Fig. 8
Resultados prueba usabilidad



Finalmente, se hizo también un análisis cuantitativo para conocer el nivel de confiabilidad entre los resultados esperados y los obtenidos. Se usó la fórmula de Distribución T Student de única muestra [14] con la cual se puede estimar una precisión superior al 95 %, teniendo en cuenta una población de usuarios nómadas dentro del campus de 49 200, con un margen de error en cada una de las pruebas fue menor al 5 %.

Con las pruebas anteriores, se puede concluir en primera instancia que el módulo de adaptación desarrollado ofrece sugerencias atractivas para los usuarios ya que los resultados obtenidos frente a la percepción del sistema son bastante cercanos a los esperados en cada dimensión de NUBI. Por otra parte, el principal objetivo de la aplicación, la inclusión y creación de comunidad a partir de las necesidades diarias de los estudiantes, se logró con la primera versión de la aplicación. Esta conclusión se ve reflejada en el nivel de satisfacción evidenciado en los resultados. Para mayor información puede consultar los resultados en esta referencia [10].

Conclusiones

Se logró diseñar e implementar un mecanismo no convencional para buscar servicios, enfocado en las necesidades individuales del usuario y la disponibilidad real de los servicios indispensable para su uso durante la jornada académica.

NUBI se convirtió en una aplicación que permite ofrecer a los estudiantes la disponibilidad de los servicios educativos y de geo-referenciación dentro de un campus. También se brindó una solución a un problema de los sistemas adaptativo: el arranque en frío, ya que se utilizó un mecanismo de realimentación y de la información semilla se puede inferir información con un error menor al 20 %. Vale la pena mencionar, el uso de un gestor de reglas que permitió mejorar la calidad del modelado de la lógica de NUBI y del proceso de decisión diseñado en el modelo de adaptación. El resultado final demuestra la generación de conocimiento a partir del aporte comunitario y, la gestión y coordinación de equipos de trabajo. NUBI al ser un sistema adaptativo mejora la precisión del enriquecimiento logrado hasta el momento y de ajustar sus funciones para ofrecer mejores soluciones a las necesidades de los estudiantes.

Como trabajo futuro se sugiere la captura de información mediante el uso de los sensores del dispositivo de acceso de los usuarios, así como probar y validar el algoritmo de Montecarlo u otro algoritmo probabilístico que mejore la confiabilidad y desempeño de la aplicación. Por último, se debe probar NUBI en otras universidades ajustando los servicios asociados a los principales de cada universidad, basado en las necesidades de los estudiantes y los servicios de mayor demanda.

Referencias

- [1] T. Kandappu, A. Misra, S. Cheng, N. Jaiman, and R. Tandriansiyah, "Campus-Scale Mobile Crowd-Tasking : Deployment & Behavioral Insights," *Cscw 2016*, pp. 800–812, 2016.
- [2] Waze Mobile (2016) *Aplicación de Mapas, Tráfico y Navegación Gratuita, Basada en la Comunidad* [en línea] Disponible en: <https://www.waze.com/es-419/signin?redirect=/es-419/dashboard>
- [3] B. Hull *et al.*, "{CarTel}": a distributed mobile sensor computing system," in *Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 125–138.
- [4] L. D. Chacon Hernández, G. R. L. Tatiana, and L. C. L. Laura, "Personalización de servicios alimentarios en un campus universitario," Pontificia Universidad Javeriana, 2015.
- [5] O. Gomez, "Sistema generador de rutas en mapas para personas con discapacidad motriz en los miembros inferiores.," Pontificia Universidad Javeriana, 2014.

- [6] S. Mathur *et al.*, “Parknet: drive-by sensing of road-side parking statistics,” in *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*, pp. 123–136.
- [7] Atlantic Systems Guild ltd, “Volere Prioritization matrix,” 2016, 1995.
- [8] A. I. Schein, A. Popescul, L. H. Ungar, and D. M. Pennock, “Methods and metrics for cold-start recommendations,” *Proc. 25th Annu. Int. ACM SIGIR Conf. Res. Dev. Inf. Retr. SIGIR 02*, vol. 46, no. Sigir, pp. 253–260, 2002.
- [9] W. Mendenhall, D. D. Wackerly, and R. L. Scheaffer, *Estadística Matemática con Aplicaciones*. 2010.
- [10] C. Peña and D. Ramirez, “Trabajo de Grado NUBI,” 2016, *Pontificia Universidad Javeriana*, 2016. [en línea]. Disponible en: <http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1630AP07/>
- [11] Inflectra Inc., “Software Testing Methodologies - Learn The Methods & Tools,” 2016.
- [12] F. D. Davis and V. Venkatesh, “Toward preprototype user acceptance testing of new information systems: implications for software project management,” *Eng. Manag. IEEE Trans.*, vol. 51, no. 1, pp. 31–46, 2004.
- [13] J. P. Chin, V. a Diehl, and L. K. Norman, “Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface,” *CHI '88-Proc. SIGCHI Conf. Hum. factors Comput. Syst.*, pp. 213–218, 1988.
- [14] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. Myers, and K. Ye, *Probabilidad y estadística ára ingeniería y ciencias*. 2007.



1 11
2 0010
3 1001010
4 **SISTEMAS** 1101
5 **INTELIGENTES**
6 **Y ROBÓTICA**
7 101010
8 1110
9 01

(SUBMISSION 94)

prāṇa: Una aplicación de la inteligencia computacional para el procesamiento de datos EEG en la clasificación de un estado mental

LEONARDO MONTES

LUIS CASTILLO

GUSTAVO ISAZA

ESTEBAN CORREA

*Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia BIOS
Universidad de Caldas
Colombia*

Resumen

La electroencefalografía (en adelante EEG), se ha convertido en una herramienta de suma importancia en el análisis de la actividad cognitiva. Las técnicas basadas en inteligencia artificial se han vuelto en parte fundamental de los procesos de extracción de patrones, clasificación y aprendizaje de señales EEG. Uno de los fenómenos, objeto de estudio del análisis cerebral a nivel electrofisiológico y clínico es la meditación. A pesar de sus beneficios comprobados científicamente y su uso potencial para la curación de las condiciones médicas, relacionadas con trastornos cognitivos y el bienestar mental en general, en la actualidad existen pocas iniciativas que involucren recursos de la inteligencia computacional en el análisis de factores asociados a la meditación. La meditación como herramienta reguladora de los pensamientos divagantes y su incidencia en la salud del cerebro, está fundamentada en el hecho de que algunos desordenes cognitivos vienen dados por los pensamientos divagantes. El estado de mente divagante

se ve expresado mediante la actividad del Default-Mode Network (en adelante DMN), el cual es regulado por la meditación. De acuerdo a estos principios, se pretende diseñar un modelo e implementar un prototipo para la detección del DMN, mediante el procesamiento de datos obtenidos de señales eléctricas craneales, utilizando técnicas de clasificación y aprendizaje (K Vecinos cercanos KNN, Redes Neuronales Artificiales ANN y Razonamiento Basado en Casos CBR). Los cuales se agrupan en un conjunto de algoritmos basados en inteligencia artificial, para el análisis datos EEG, en caracterización de mente divagante, como base en el aprendizaje autónomo de meditación psicoterapéutica.

Palabras clave: inteligencia computacional, minería de datos, procesamiento datos EEG, cerebro, ANN, KNN, CBR, clasificación, *default mode network*.

Introducción

La electroencefalografía (EEG) es un método de medida biométrica que permite abstraer conclusiones respecto a las actividades cognitivas de un individuo, basados en las fluctuaciones eléctricas en la corteza del cerebro [1], [2]. La actividad cognitiva se expresa por la activación de zonas específicas del cerebro, esta actividad es generada por miles de neuronas que se sincronizan localmente y emiten impulsos eléctricos, los cuales se agrupan en potenciales eléctricos que pueden ser detectados, amplificados y almacenados en el tiempo. La señal EEG resultante es una curva oscilatoria, cuya amplitud se encuentra en el rango de los microvoltios ($\mu V\mu V$) ($\mu V\mu V$), y sus datos son grabados usando múltiples electrodos localizados en el cráneo de un individuo. Los sistemas de medida básicos disponen de 2 a 9 electrodos (Adicionales a la tierra y los electrodos de referencia). Actualmente existen algunos sistemas incorporados en una malla o casco, como es el caso del Emotiv Epoc. Para obtener mejores resoluciones espaciales y medidas de alta densidad son utilizados los sistemas de 32 a 256 electrodos. La ubicación de los electrodos en el cuero cabelludo esta especificada por el sistema internacional 10-20 [2].

Los resultados de los experimentos EEG están basados usualmente en análisis espectral, por lo tanto, los datos necesitan ser pre procesados aplicando filtros, ventanas u alguna otra técnica similar, previamente a cualquier procedimiento. Se calcula el poder espectral, el espectro de frecuencia resultante se divide en cuatro bandas de frecuencia. Delta [<4 Hz], Theta [$\sim 4-8$ Hz], Alpha [$\sim 8-12$ Hz], Beta [$\sim 12-30$ Hz]. Esta clasificación permite detectar cambios en el poder de distribución de cada banda de frecuencia. Por ejemplo, diversos estudios han encontrado un aumento en la banda de frecuencia Theta y un decremento en la Alpha a medida que la dificultad de una tarea aumenta [3] o variaciones de

las ondas Alpha en estado de concentración, utilizando un dispositivo Emotiv Epoc [4]. El espectro de poder usualmente se calcula para cada electrodo situado en el cuero cabelludo.

Un caso particular se centra en el estudio a nivel clínico, imagenológico y electrofisiológico del cerebro en la incidencia de que algunos desordenes cognitivos (autismo, schizophrenia, alzheimer, depresión, entre otros) vienen dados por los pensamientos divagantes [5]–[13]. A su vez el estado de mente divagante o *mindwandering* se ve expresado mediante la actividad del Default-Mode Network (DMN) [6], [14]–[18]. Finalmente se ha comprobado que la meditación regula el estado de DMN [15], [18]–[22].

Se ha demostrado que la práctica de la meditación conlleva a cambios en la conectividad funcional entre el núcleo del DMN reflejados posiblemente, en el fortalecimiento de la mente consciente [23]. Recientes experimentos abordan la meditación consciente y diversos artefactos para su detección y tipificación [24]. Así como la neurofisiología de la meditación y el *mindfulness* y su impacto desde el EEG ha sido estudiada ampliamente a lo largo de los años [25]. Entendiéndose que la meditación hace referencia a un amplio rango de actividades mentales que parten de un objeto en común en la regulación de la atención y la conciencia en orden de mejorar los procesos mentales [26].

Las últimas investigaciones han involucrado el uso de electroencefalografía para el análisis de distintos fenómenos asociados al funcionamiento del cerebro, mediante la aplicación de técnicas de minería de datos, *machine learning* y estadística [27], por otro lado, han enriquecido el descubrimiento de información a partir de los datos generados por las señales EEG, y han sido de considerable importancia en la ayuda de diagnósticos asociados a patologías cerebrales.

Se destacan casos como la aplicación de la Inteligencia Computacional mediante redes neuronales en la clasificación de electroencefalografías [28], la clasificación de EEG usando redes neuronales y utilizando regresión logística en casos de epilepsia [29], utilizando k-means para agrupar las bandas de frecuencia EEG, haciendo uso de las redes neuronales perceptron multicapa (en adelante MLP-NN), como modelo de clasificación, en un mecanismo de soporte de decisiones diagnosticas en el tratamiento de epilepsia [30]. Estudios similares resaltan el uso de minería de datos en datos EEG para el diagnóstico de depresión, utilizando árboles y algoritmos genéticos [31].

Técnicas de *machine learning* han realizado un significativo aporte a las clasificación de señales EEG, como es el caso de diagnósticos de trastornos mentales mediante el uso de métodos adaptativos como la distancia ponderada del vecino más cercano KNN (weighted distance nearest neighbor, o WDNN, por sus siglas

en inglés) [32], clasificación de las características no lineales en desorden de hiperactividad y déficit de atención, utilizando KNN [33], clasificación de los patrones de epilepsia a través de EEG con KNN [34], se han usado máquinas de soporte vectorial o SVM para discriminar artefactos en las grabaciones EEG [35], clasificación usando redes neuronales y redes bayesianas para mejorar el rendimiento de dispositivos biomédicos basados en EEG, EMG [36], redes neuronales con análisis Wavelet en la detección de desórdenes epilépticos [37], [38] y Alzheimer [39], el uso de redes neuronales tipo *perceptron multicapa*, en la clasificación de estados emocionales para sistemas de computación afectiva basados en EEG [40], [41], [42], inclusive categorizar la susceptibilidad a la hipnosis utilizando vecino más cercano NN y Fuzzy NN - FNN [43]. Producto de dichos estudios, se ha evidenciado un creciente interés en el uso y desarrollo de herramientas informáticas apoyadas en inteligencia computacional para el enriquecimiento del análisis de datos cerebrales, entre ellas PyMVPA [44] o PyEEG [45].

Este proyecto plantea el diseño e implementación de un prototipo orientado a investigar la respuesta del cerebro frente a la actividad de tener pensamientos divagantes expresada en el DMN, comparada con la actividad cognitiva al inducir estados de meditación. Se han obtenido datos de sujetos sin experiencia en meditación, mientras su actividad cerebral es registrada por un dispositivo EEG de 14 electrodos. Dichos datos son evaluados a nivel de pre procesamiento y extracción de características, para ser pasados de la manera más consistente posible a un motor de inteligencia computacional, que comprende tres partes: un sistema de clasificación y aprendizaje utilizando K vecinos más cercanos, enlazado con un componente basado en redes neuronales ANN para caracterizar el DMN, y seguidamente se busca emitir un diagnostico en relación a un plan de meditación auto asistido para efectos de validación de un razonador basado en casos CBR.

Materiales y métodos

Caracterización espectral del *default mode network*

A partir de las características a nivel de EEG y campos de potencia espectral del *default mode network*, se establece un mecanismo preliminar al modelo de detección de mente divagante, el cual está fundamentado en la presencia de patrones espaciales de modulación de las bandas de potencia en las ondas Theta y Alpha [46], [47], bajo actividades mentales de introspección autobiográfica alternadas con actividades de concentración en la respiración [48]. De la misma manera se toma en cuenta las magnitudes de tendencia central presentadas en

la Tabla 1, para la caracterización espectral de las ondas EEG de baja, media y alta frecuencia tipificadas para el DMN [49] en condiciones de ojos abiertos y ojos cerrados.

Tabla 1

Magnitudes en MV^{V^2} de los campos de potencia espectral para *default mode network* en estado de ojos abiertos EO y ojos cerrados EC

Estado	Delta	Theta	Alpha-1	Alpha-2	Beta-1
EO	407.4	9.1	6.7	5.6	6.8
EC	354.9	14.7	41.6	23.6	12.9

Diseño del experimento: se plantea recolectar las muestras de diez sujetos en total; cinco de ellos sin experiencia previa en meditación, los cuales fueron objeto del presente análisis, y se proyecta a futuro recopilar datos de los cinco restantes con experiencia en meditación, que cumplan con las siguientes características: que hayan realizado meditación durante al menos 3 años, con un mínimo de un año en técnicas como Vipassana, Mindfulness, Zen o similares y que al momento de la prueba, practique meditación al menos una hora por semana. Todos los participantes deben ser diestros, sin antecedentes de enfermedades psiquiátricas o neurológicas. Los sujetos deben estar sanos y encontrarse en una edad entre los 20 y 60 años.

Criterios de exclusión: No uso de medicación, uso de drogas psicotrópicas, consumo regular de alcohol < de seis unidades a la semana, cigarrillos más de 0.5 paquetes diarios. Todos los participantes aceptan voluntariamente. El procedimiento de captura de las señales neuronales se lleva a cabo con un dispositivo EEG de 14 canales de referencia Emotiv EPOC™.

Los voluntarios se sitúan en una ubicación aislada, bajo condiciones de luz y ambientales estándar, utilizando una silla con espaldar y reposa manos, un computador con sistema operativo Windows y la herramienta Emotiv TestBench, instalada y configurada. Para la captura de la señal, se utiliza una pantalla de 40 pulgadas para la emisión y visualización de las instrucciones del protocolo de captura y unos audífonos que se activaran con una versión del mantra *ohm mani padme hum* durante el registro de datos en estado de meditación. Mientras una persona da seguimiento y verificación a todo el procedimiento.

Captura de señal

Basados en el referente de someter a los participantes a ejecutar acciones con los ojos abiertos y los ojos cerrados como parte del proceso de recolección de la señal [50], se realizan dos experimentos: durante diez minutos se les pide a los

sujetos realizar un prueba donde tendrían un artefacto EEG de 14 electrodos, ubicado en su cabeza, bajo el sistema de posicionamiento 10/20 a 128 Hz. Se les indicaría verbalmente y de manera individual a cada voluntario, previo a la captura, el procedimiento a seguir, el cual se describe a continuación:

Durante cinco minutos se les pide a los participantes estar atentos a una pantalla con texto de color blanco y fondo negro, que le presentaría tres preguntas relacionadas a una experiencia de su vida, un acontecimiento futuro, y uno traumático. Cada interrogante estaría en la pantalla durante cien segundos, para un total de cinco minutos. Lo anterior con el fin de inducir estímulos de estados mentales divagantes, que contribuyeran a la aparición del *default mode network* [16].

Posteriormente se les pediría a los sujetos utilizar alguno de los métodos clásicos de meditación *mindfulness* o meditación concentrada, como centrar la atención en la respiración o realizar un conteo mental, con los ojos cerrados, durante un periodo de 300 segundos.

La instancia de un conjunto de datos individual obtenidos a partir de la captura de la señal contiene entre 85 000 y 90 000 lecturas para 14 sensores, organizadas matricialmente y registradas en un lapso total de 11 minutos (incluido un minuto de transición entre EO y EC) de manera continua, para una tasa promedio de captura o segmentación de 140 lecturas/segundo.

Pipeline para la clasificación del DMN

Una vez consolidado el procedimiento para la adquisición de la señal, la propuesta para el procesamiento y clasificación se establece en cuatro etapas de la siguiente manera: 1. Tratamiento de los datos EEG obtenidos con el dispositivo Emotiv Epoc. 2. Pre procesamiento de los datos EEG. 3. Aplicar Transformada de Fourier. 4. *prāṇa*: Inteligencia Computacional y Clasificación del DMN.

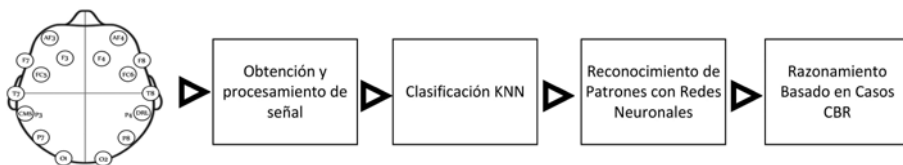
Tratamiento de los datos EEG obtenidos con el dispositivo Emotiv Epoc: como primera aproximación a un prototipo de detección de Default Mode Network, se procede a clasificar a partir de un *dataset* obtenido en formato.edf, mediante el *software* Emotiv TestBench, la lectura y posterior procesamiento se realiza en Matlab. La librería Edfread [51] retorna la información de las señales y la cabecera de un archivo edf en un registro estructurado.

Los datos de las lecturas de los 14 electrodos del Emotiv Epoc, pertenecen a las filas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16 del registro correspondiente al archivo.edf que equivalen a los electrodos ,AF3', ,F7', ,F3', ,FC5', ,T7', ,P7',

,O1', ,O2', ,P8', ,T8', ,FC6', ,F4', ,F8', ,AF4', dentro del sistema internacional de posicionamiento en electroencefalografía 10/20 (Fig. 1).

Fig. 1

Los círculos grandes en negrita indican la UI del posicionamiento 10/20 para el Emotiv Epoc y su integración con el Modelo de inteligencia computacional - KNN – ANN - CBR



La resolución de la señal tiene una tasa de muestra de 128 SPS (interno 2048 Hz), la resolución es de 14 bits $1 \text{ LSB} = 0.51 \mu\text{V}$, el ancho de banda es de 0.2 – 43 Hz, con filtros de ranura digitales con 50Hz y 60Hz, cuenta con un filtro incorporado de quinto orden, un rango dinámico de $8400 \mu\text{V}\mu\text{V}$.

Pre-procesamiento de los datos EEG: es necesario mencionar que a la señal EEG en bruto, se le debe aplicar tareas de pre procesamiento, como extracción de características, con el fin de generar un buen modelo y dar mejor precisión. Existen varios métodos disponibles para ello, entre estas: Filtros digitales 1-D usando la función racional de transferencia. Filtros digitales de ajusta a paso alto de 50 y 60 Hz. Ventanas (Hamming) para evitar discontinuidad al principio y al final de los bloques analizados.

Aplicar Transformada de Fourier: se aplica FFT a todo el conjunto de datos de los 14 electrodos de las señales y se da paso a la etapa de minería de datos y descubrimiento de información.

prãña: Inteligencia Computacional y Clasificación del DMN: a partir de la revisión sistemática de las técnicas utilizadas en el análisis de datos de señales EEG, se procede a hibridar dos técnicas de minería de datos predictiva; la primera elabora un *target* de clasificación del DMN utilizando KNN, y la segunda realiza una nueva clasificación mediante aprendizaje supervisado con ANN, basado en el *target* producto de la primera. Este método híbrido entre aprendizaje paramétrico y no paramétrico para la clasificación de estado de Default Mode Network, se basa en los patrones espectrales de este sistema cerebral para las ondas Delta, Tetha, Alpha y Beta, dados por las magnitudes de tendencia central de la Tabla 1. La técnica de clasificación KNN va iterando en la distancia k para determinar la magnitud del poder espectral más cercano a los patrones establecidos para el DMN. Finalmente se implementa un CBR que pretende ser

validado mediante la emisión de un diagnostico acerca del estado de meditación registrado, basados en la etapa previa de clasificación.

Normalización: con el fin de implementar los análisis de la manera menos sesgada, se realizó un filtro inicial para las magnitudes fuera del espectro de interés, expresadas a partir de $1000 \mu V \mu V$. Se realizó una transformación a los datos utilizando Normalización por Escala Decimal. Suponiendo que todos los datos se encuentren en la escala de los reales positivos.

$$\varphi = \frac{v}{10^j} \quad \varphi = \frac{v}{10^j} \quad (1)$$

KNN

El método del K vecino más cercano aprende por analogía, comparando las tuplas con una tupla dada de naturaleza similar. Las tuplas de entrenamiento están descritas por n atributos. Cada una de ellas representa un punto en un espacio n-dimensional, de tal manera que todas las tuplas se almacenan en un espacio de patrones n-dimensional. Dada una tupla desconocida, el clasificador k-vecino-cercano busca el espacio de patrones para las k tuplas entrenadas que se encuentren cercanas a la tupla dada. La cercanía para el caso esta propuesta se define en términos de la distancia euclidiana [52].

$$\begin{aligned} & \text{Distancia espectral euclidiana } (X_1, X_2, X_1, X_2) \\ &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2} \quad (2) \end{aligned}$$

El dominio del *target*, expresado por el clasificador KNN viene dado por la siguiente regla: si la magnitud del electrodo *i*, es K cercano a las medidas de tendencia central de los campos espectrales de potencia tipificados para DMN ($x_{1i} = \text{dato}_{\text{ref.espectral DMN}}$) ($x_{1i} = \text{dato}_{\text{ref.espectral DMN}}$) [49], la lectura ($x_{2i} = \text{dato}_{\text{lectura EEG}}$) ($x_{2i} = \text{dato}_{\text{lectura EEG}}$) se clasifica como presencia de DMN. Para un segmento se compara la suma del número de electrodos K cercanos detectados DMN positivos (1), con un parámetro de tolerancia. El parámetro de tolerancia establece el número mínimo de electrodos con posible presencia de DMN, para que un segmento se clasifique como presencia de DMN. Este problema de clasificación comprende dos clases, presencia o no del DMN para un Segmento *n*. Expresado en un *target* que consiste en un escalar 0/1, con 1 si está en DMN y 0 si no lo está para el número de segmentos dados por una lectura EEG.

Redes Neuronales ANN: las redes neuronales artificiales, son sistemas de cómputo compuestos de un gran número de simples y altamente interconectados,

nodos de procesamiento que abstractamente emulan la estructura y operación del sistema nervioso biológico.

Se organiza un conjunto de vectores de entrada Q como columnas en una matriz, así mismo se establece otro conjunto de vectores objetivos Q' de tal manera que indiquen a cuál de los vectores de entrada está asignado. Se define una clase a partir del *target* establecido por el clasificador KNN de la etapa anterior y una segunda clase como instancia de comparación con una inicialización aleatoria. Se definen dos matrices la primera contiene los datos de entrada transformados de los 14 electrodos. La segunda contiene las dos clases con los parámetros de presencia del DMN para cada una de los segmentos de los datos de entrada.

Algoritmo 1. Pseudo Código K Vecino Cercano y Redes Neuronales
0:CalcularDMN(eegdata, k, tolerancia)
2: eegdatapre $\leftarrow$ preprocesar-parametros(eegdata)
3:for all electrodos in eegdatapre
4: for all lecturas in eegdatapre
5: if min (dist_espect_eucli(electrodo,lectura,dmn)) < k then
6: if sum (lecturas < tolerancia) then targetdmn(lectura)=1
8: end if
9: end for
10:end for
11: procesa-EEG-red-neuronal-backprop (eegdatapre, targetdmn)

Para entrenar una red para reconocer patrones, se usó la herramienta de reconocimiento de patrones nprtool. Para la muestra de concepto se utilizó un *dataset* de 43776 lecturas, obtenido a partir del experimento detallado en el procedimiento de captura con los ojos cerrados (sección 2) como vectores de entrada y los dos vectores objetivo definidos previamente por KNN y aleatoriedad respectivamente.

La red neuronal que es usada para el reconocimiento de patrones, es una red *feedforward* de dos capas, con una función de transferencia *sigmoid* (3) en la capa oculta, y una función de transferencia *softmax* (4) en la capa (neurona) de salida. Esta puede clasificar patrones arbitrariamente bien, dadas las suficientes neuronas en la capa oculta, cuyo número oculto de inicialmente propuesto es de diez. La idea es variar este valor, si la red no se comporta como se espera. La red será entrenada con Scaled conjugate gradient backpropagation [53]. Entrena automáticamente y para cuando la generalización deja de mejorar, es indicado por un incremento en el error de entropía cruzada de la validación de muestras.

Se realiza el entrenamiento para 20 iteraciones. El número de neuronas de salida es 2, que corresponde al número de elementos en el vector *target*.

Los datos de validación y prueba, tienen cada uno un 15 % de los datos originales, los vectores de entrada y los vectores objetivos (*target*) se dividen en 3 conjuntos de la siguiente manera: 70 % usados para entrenamiento y 15 % es usado para validar que la red está generalizada y pare de entrenar antes del overfitting. El último 15 % es usado como prueba completamente independiente de la generalización de la red.

$$P(t) = \frac{1}{1+e^{-t}} P(t) = \frac{1}{1+e^{-t}} \quad (3)$$

$$\sigma(z)_j = \frac{e^{z_j}}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}} \sigma(z)_j = \frac{e^{z_j}}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}} \quad \text{Para } j = 1, \dots, K. \quad (4)$$

Razonamiento basado en casos CBR: los clasificadores basados en casos usan una base de datos de soluciones para resolver nuevos problemas. EL CBR incluye un conjunto de respuestas, que atienden la emisión de un diagnóstico. Dado un nuevo caso a clasificar, un razonador basado en casos verifica si existe una respuesta idéntica, si existe, retorna esta respuesta, si no existe, buscará en los casos de entrenamiento tomando componentes similares para la creación de un nuevo caso. Conceptualmente, estos casos de entrenamiento pueden ser considerados como *vecinos del nuevo caso*. Como mecanismo preliminar se propone un razonador básico a partir de los rangos de los poderes espectrales basados en el rendimiento de la tolerancia, y el parámetro k del paso anterior, para emitir diagnósticos breves relacionados con el estado de meditación, como parte de una técnica auto asistida para su aprendizaje.

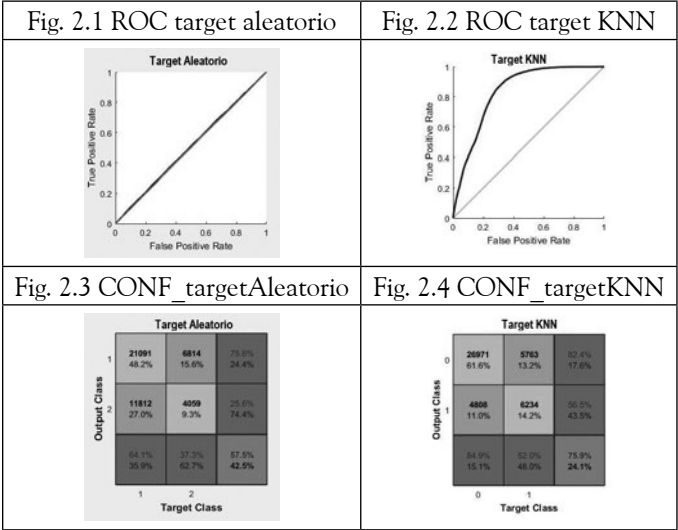
Resultados

Los resultados muestran el comportamiento de la red ANN respecto al target (Aleatorio vs calculado con KNN). Para los datos de entrenamiento, validación y prueba.

En las curvas ROC se demuestra una mejora de la especificidad y la sensibilidad (verdaderos positivos) para el sistema clasificador binario, según se varía el umbral de discriminación en el target generado por el clasificador KNN frente al aleatorio. Las matrices de confusión bajo las mismas condiciones de los targets evidencian un mejoramiento en los porcentajes de predicción de los verdaderos positivos TP y una disminución en la tasa de falsos positivos FP. La precisión obtenida con target aleatorio es de 0.57 y con target definido mediante KNN del 0.76. Como se muestra a continuación:

Fig. 2

Curvas ROC (izq.) Matrices de confusión (der.) con clasificación de DMN usando ANN con target aleatorio (izq.) y target clasificado con KNN (der.)



Los resultados de la experimentación, para cada uno de los sujetos de control, se muestran a continuación. Representados mediante curvas ROC en la Fig. 3, seguidamente se muestran en la Tabla 3 los valores del rendimiento del algoritmo propuesto.

Fig. 3

Resultados de especificidad y la sensibilidad para la experimentación con 5 individuos

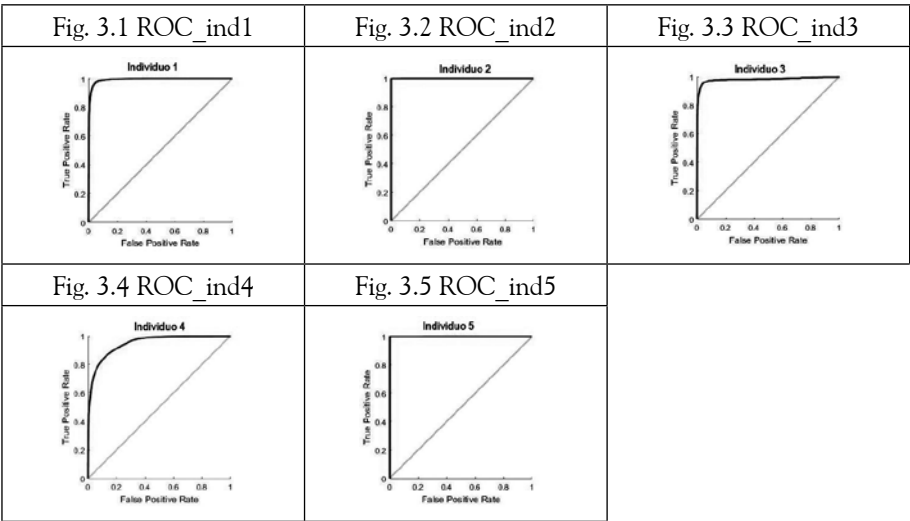


Tabla 3

Porcentaje de los valores de la matriz de confusión para los datos evaluados a partir de la experimentación con los individuos de control

Id Individuo	Verdaderos Positivos	Falsos Negativos	Falsos Positivos	Verdaderos Negativos
1	60.1	2.1	1.8	36.0
2	0.3	0.0	0.0	99.6
3	98.6	0.1	0.9	0.4
4	54.0	7.7	5.0	33.3
5	55.7	0.0	0.0	44.3

Las columnas 2 y 4 muestran el número de casos clasificados correctamente y las columnas 3 y 5 muestran los casos no clasificados.

Conclusiones

El prototipo presentado es una aproximación preliminar al procesamiento inteligente de datos obtenidos a partir de señales cerebrales para detección de un estado mental como el DMN. Teniendo en cuenta que la aplicación de técnicas propias de la teoría de señales, así como la variabilidad en los parámetros de la red neuronal y el KNN, podrían contribuir en un mejoramiento en la precisión y rendimiento. Se esperan obtener datos de varios participantes, entre meditadores expertos y novatos, con el fin de estudiar la posibilidad de mejorar la clasificación, así como establecer experimentalmente la cantidad apropiada de los mismos para el entrenamiento de la red neuronal.

La inclusión de parámetros que tengan en cuenta la correlación a nivel espectral, así como la distribución regional del DMN, entre otros, pueden contribuir al mejoramiento del algoritmo en función de un análisis que busque ponderar factores como la zona del cerebro o la presencia de determinada onda de frecuencia. Es importante destacar el uso de estrategias a nivel de la red neuronal para mejorar la precisión en los resultados, como reiniciar el valor de los pesos de la red, incrementar el número de neuronas ocultas, de vectores de entrenamiento o de variables de entrada. Hasta ahora el modelo computacional se adapta a un enfoque útil en la detección del DMN y la incidencia de la meditación en su regulación. Sin embargo, la accesibilidad y la portabilidad deben estar garantizadas mediante una herramienta que permita la extracción de datos de manera nativa y que integre, pre procesamiento, extracción de características, clasificación y visualización.

Referencias

- [1] M. Dinar, J. D. Summers, J. Shah, and Y.-S. Park, "Evaluation of Empirical Design Studies and Metrics," in *Experimental Design Research*, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 13–39.
- [2] Valer Jurcak, D. Tsuzuki, and I. Dan, "10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems." en *Neuroimage*.
- [3] M. Zeng, L. T. Nguyen, B. Yu, O. J. Mengshoel, J. Zhu, P. Wu, and J. Zhang, "Convolutional Neural Networks for Human Activity Recognition using Mobile Sensors," *Proc. 6th Int. Conf. Mob. Comput. Appl. Serv.*, 2014.
- [4] C. Salgado Patrón, B. Monje, C. Raúl, J. Salgado Patrón, and C. Raúl Barrera Monje, "Emotiv EPOC BCI with Python on a Raspberry pi," *Sistemas y telemática*, vol. 14, no. 36, pp. 27–38, 2016.
- [5] J. Smallwood, A. Fitzgerald, L. K. Miles, and L. H. Phillips, "Shifting moods, wandering minds: negative moods lead the mind to wander," *Emotion*, vol. 9, no. 2, pp. 271–276, 2009.
- [6] A. Anand, Y. Li, Y. Wang, J. Wu, S. Gao, L. Bukhari, V. P. Mathews, A. Kalnin, and M. J. Lowe, "Activity and connectivity of brain mood regulating circuit in depression: a functional magnetic resonance study," *Biol. Psychiatry*, vol. 57, no. 10, pp. 1079–88, May 2005.
- [7] J. Carmody and R. a. Baer, "Relationships between mindfulness practice and levels of mindfulness, medical and psychological symptoms and well-being in a mindfulness-based stress reduction program," *J. Behav. Med.*, vol. 31, no. 1, pp. 23–33, 2008.
- [8] K. W. Brown and R. M. Ryan, "The benefits of being present: Mindfulness and its role in psychological well-being."
- [9] G. Adomavicius and A. Tuzhilin, "Toward the next generation of recommender systems: a survey of the state-of-the-art and possible extensions," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 17, no. 6, 2005.
- [10] D. Koszycki, K. Raab, F. Aldosary, and J. Bradwejn, "A multifaith spiritually based intervention for generalized anxiety disorder: A pilot randomized trial," *J. Clin. Psychol.*, vol. 66, no. 4, pp. 430–441, 2010.
- [11] A. Chiesa and A. Serretti, *Mindfulness-Based Stress Reduction for Stress Management in Healthy People: A Review and Meta-Analysis*, May 2009.

- [12] B. Shneiderman and C. Plaisant, "Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction." Nature Publishing Group, 2009.
- [13] P. R. Goldin and J. J. Gross, "Effects of mindfulness-based stress reduction (MBSR) on emotion regulation in social anxiety disorder," *Emotion*, vol. 10, no. 1, pp. 83–91, 2010.
- [14] K. Christoff, A. M. Gordon, J. Smallwood, R. Smith, and J. W. Schooler, "Experience sampling during fMRI reveals default network and executive system contributions to mind wandering," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 106, no. 21, pp. 8719–8724, 2009.
- [15] J. H. Austin, *Zen-Brain Reflections*. 2006.
- [16] R. L. Buckner, A.-H. Jessica, S. Daneil, J. R. Andrews-Hanna, and D. L. Schacter, "The brain's default network Anatomy, function, and consequence," *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 1124, pp. 1–38, Mar. 2008.
- [17] N. a S. Farb, Z. V. Segal, H. Mayberg, J. Bean, D. Mckeen, Z. Fatima, and A. K. Anderson, "Attending to the present: Mindfulness meditation reveals distinct neural modes of self-reference," *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, vol. 2, no. 4, pp. 313–322, 2007.
- [18] J. H. Jang, W. H. Jung, D. H. Kang, M. S. Byun, S. J. Kwon, C. H. Choi, and J. S. Kwon, "Increased default mode network connectivity associated with meditation," *Neurosci. Lett.*, vol. 487, no. 3, pp. 358–362, 2011.
- [19] C. a, K. W. Brown, and R. M. Ryan, "The benefits of being present: Mindfulness and its role in psychological well-being," *Rehabilitation*, vol. 84, no. c, pp. 2011–2011, Apr. 2011.
- [20] N. D. Anderson, M. A. Lau, Z. V. Segal, and S. R. Bishop, "Mindfulness-based stress reduction and attentional control," *Clin. Psychol. Psychother.*, vol. 14, no. 6, pp. 449–463, Nov. 2007.
- [21] R. a Baer, "Mindfulness Training as a Clinical Intervention:," *Clinical Psychology: Science and Practice*, no. 1998, pp. 125–143, 2003.
- [22] S. R. Bishop, M. Lau, S. Shapiro, L. Carlson, N. D. Anderson, J. Carmody, Z. V. Segal, S. Abbey, M. Speca, D. Velting, and G. Devins, "Mindfulness: A proposed operational definition," *Clin. Psychol. Sci. Pract.*, vol. 11, no. 3, pp. 230–241, 2004.
- [23] V. A. Taylor, V. Daneault, J. Grant, G. Scavone, E. Breton, S. Roffe-Vidal, J. Courtemanche, A. S. Lavarenne, G. Marrelec, H. Benali, and M. Beauregard, "Impact of meditation training on the default mode network during

- a restful state,” *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, vol. 8, no. 1, pp. 4–14, Jan. 2013.
- [24] J. Lutz, A. B. Brühl, H. Scheerer, L. Jäncke, and U. Herwig, “Neural correlates of mindful self-awareness in mindfulness meditators and meditation-naïve subjects revisited,” *Biol. Psychol.*, vol. 119, pp. 21–30, Sep. 2016.
- [24] T. Lomas, I. Ivtzan, and C. H. Y. Fu, “A systematic review of the neurophysiology of mindfulness on EEG oscillations,” *Neurosci. Biobehav. Rev.*, vol. 57, pp. 401–410, Oct. 2015.
- [25] J. Manuello, U. Vercelli, A. Nani, T. Costa, and F. Cauda, “Mindfulness meditation and consciousness: An integrative neuroscientific perspective,” *Conscious. Cogn.*, vol. 40, pp. 67–78, 2016.
- [26] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning*. New York, NY: Springer New York, 2009.
- [27] H. Jia, “Neural network in the application of EEG signal classification method,” in *2011 Seventh International Conference on Computational Intelligence and Security*, 2011, pp. 1325–1327.
- [28] A. Subasi and E. Erçelebi, “Classification of EEG signals using neural network and logistic regression,” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 78, no. 2, pp. 87–99, May 2005.
- [29] U. Orhan, M. Hekim, and M. Ozer, “EEG signals classification using the K-means clustering and a multilayer perceptron neural network model,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, pp. 13475–13481, 2011.
- [30] M. Mohammadi, F. Al-Azab, B. Raahemi, G. Richards, N. Jaworska, D. Smith, S. de la Salle, P. Blier, and V. Knott, “Data mining EEG signals in depression for their diagnostic value,” *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, vol. 15, p. 108, Dec. 2015.
- [31] E. Parvinnia, M. Sabeti, M. Zolghadri Jahromi, and R. Boostani, “Classification of EEG Signals using adaptive weighted distance nearest neighbor algorithm,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 26, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [32] F. Ghassemi, M. Hassan_Moradi, M. Tehrani-Doost, and V. Abootalebi, “Using non-linear features of EEG for ADHD/normal participants’ classification,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 32, pp. 148–152, 2012.
- [33] P. Bhuvaneswari and J. S. Kumar, “Influence of Linear Features in Nonlinear Electroencephalography (EEG) Signals,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 47, pp. 229–236, 2015.

- [34] V. Lawhern, W. D. Hairston, K. McDowell, M. Westerfield, and K. Robbins, "Detection and classification of subject-generated artifacts in EEG signals using autoregressive models," *J. Neurosci. Methods*, vol. 208, no. 2, pp. 181–189, 2012.
- [35] E. J. Rechy-Ramirez and H. Hu, "Bio-signal based control in assistive robots: a survey," *Digit. Commun. Networks*, vol. 1, no. 2, pp. 85–101, 2015.
- [36] Z. Zainuddin, L. K. Huong, and O. Pauline, "On the Use of Wavelet Neural Networks in the Task of Epileptic Seizure Detection from Electroencephalography Signals," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 11, pp. 149–159, 2012.
- [37] S. Dehuri, A. K. Jagadev, and S.-B. Cho, "Epileptic Seizure Identification from Electroencephalography Signal Using DE-RBFNs Ensemble," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 23, pp. 84–95, 2013.
- [38] J. C. McBride, X. Zhao, N. B. Munro, G. A. Jicha, F. A. Schmitt, R. J. Kryscio, C. D. Smith, and Y. Jiang, "Sugihara causality analysis of scalp EEG for detection of early Alzheimer's disease," *NeuroImage Clin.*, vol. 7, pp. 258–265, 2015.
- [39] W. K. Shams, A. Wahab, and I. Fakhri, "Affective Computing Model Using Source-temporal Domain," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 97, pp. 54–62, Nov. 2013.
- [40] M. Othman, A. Wahab, I. Karim, M. A. Dzulkifli, and I. F. T. Alshaikli, "EEG Emotion Recognition Based on the Dimensional Models of Emotions," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 97, pp. 30–37, Nov. 2013.
- [41] P. Lahane and A. K. Sangaiah, "An Approach to EEG Based Emotion Recognition and Classification Using Kernel Density Estimation," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 48, pp. 574–581, 2015.
- [42] Z. Elahi, R. Boostani, and A. Motie Nasrabadi, "Estimation of hypnosis susceptibility based on electroencephalogram signal features," *Sci. Iran.*, vol. 20, no. 3, pp. 730–737, 2013.
- [43] M. Hanke, Y. O. Halchenko, P. B. Sederberg, E. Olivetti, I. Fründ, J. W. Rieger, C. S. Herrmann, J. V. Haxby, S. J. Hanson, and S. Pollmann, "PyMVPA: a unifying approach to the analysis of neuroscientific data," *Front. Neuroinform.*, vol. 3, p. 3, 2009.
- [44] F. S. Bao, X. Liu, and C. Zhang, "PyEEG: an open source Python module for EEG/MEG feature extraction.," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2011, p. 406391, 2011.

- [45] I. Neuner, J. Arrubla, C. J. Werner, K. Hitz, F. Boers, W. Kawohl, and N. J. Shah, "The default mode network and EEG regional spectral power: a simultaneous fMRI-EEG study,," *PLoS One*, vol. 9, no. 2, p. e88214, 2014.
- [46] A. American Academy of Neurology., J. Griffis, K. Visscher, A. Dobbins, T. Gawne, M. DiFrancesco, and J. Szaflarski, "Alpha Rhythm and the Default Mode Network: An EEG-fMRI Study,," *Neurology*, vol. 84, no. 14 Supplement, p. P6.021, Apr. 2015.
- [47] T. Fomina, M. Hohmann, B. Scholkopf, and M. Grosse-Wentrup, "Identification of the Default Mode Network with electroencephalography," in 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015, pp. 7566–7569.
- [48] A. C. N. Chen, W. Feng, H. Zhao, Y. Yin, and P. Wang, "EEG default mode network in the human brain: Spectral regional field powers," *Neuroimage*, vol. 41, no. 2, pp. 561–574, 2008.
- [49] L. M. Alonso-Valerdi, "Python Executable Script for Estimating Two Effective Parameters to Individualize Brain-Computer Interfaces: Individual Alpha Frequency and Neurophysiological Predictor,," *Front. Neuroinform.*, vol. 10, p. 22, 2016.
- [50] Brett Shoelson, "edfRead - File Exchange - MATLAB Central." [Online]. Available: Available: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31900-edfread>. [Accessed: 02-May-2017].
- [51] M. Kamber, J. Pei, and J. Han, *Data Mining, Concepts and Techniques*, Third Edit. 2011.
- [52] "Scaled conjugate gradient backpropagation - MATLAB trainscg." [en línea] Disponible en: <https://www.mathworks.com/help/nnet/ref/trainscg.html>.

1 11
2 0010
3 1001010
4 **SISTEMAS 1101**
5 **DISTRIBUIDOS**
6 **Y ARQUITECTURA**
7 **A GRAN ESCALA**

8 1110
9 01

(SUBMISSION 113)

Agrupación automática y visualización de documentos científicos en un ambiente Big Data

FERNANDO SÁNCHEZ QUINTERO

OSWALDO SOLARTE PABÓN

*Universidad del Valle**Cali, Colombia*

Abstract

La agrupación de documentos es una tarea común de aprendizaje automático en la que se busca encontrar documentos relacionados basados en su contenido. En los últimos años ha crecido la importancia de este debido al crecimiento masivo de los documentos y a la necesidad de poder presentar y organizarlos de forma ordenada. En este artículo se presenta un prototipo que permite agrupar y visualizar documentos científicos bajo una arquitectura escalable basada en tecnologías que permiten el manejo de grandes cantidades de datos como lo son *Spark*, *Hadoop* y *ElasticSearch*.

Palabras clave: agrupación, aprendizaje automático, documentos, Big Data, *Hadoop*, *Spark*, *ElasticSearch*, escalabilidad.

Introducción

Actualmente, los datos se han convertido en un activo de suma importancia para las organizaciones. Hoy día, se producen datos a ritmos acelerados y con una gran variedad (texto, imágenes, audio). En ese orden de ideas y desde el

punto de vista de ingeniería, los mecanismos tradicionales de almacenamiento y procesamiento, que soportan el flujo de datos, presentan dificultades en el manejo estos, que, por lo general, son datos no estructurados y de gran volumen. En el contexto de documentos científicos, tan sólo en el 2014 se registraron 2'984.578 documentos científicos en la base de datos de *Scopus* [1], lo que ha representado nuevos retos en la forma de procesar, almacenar, analizar y visualizar estos documentos.

En los últimos años las tecnologías de *Big Data* han emergido como propuesta para el manejo de estas grandes cantidades de datos los cuales pueden ser estructurados, semi-estructurados y no estructurados. *Big Data* está relacionado con diferentes variables como el volumen, la variedad y la velocidad con que se generan los datos [2]. Este trabajo se enfoca en manejar información afectada por la variedad y el volumen de los datos, específicamente con datos no estructurados provenientes de documentos científicos.

Por otro lado, la agrupación de documentos se ha usado en numerosas áreas de la minería de texto y la recuperación de información. Inicialmente, el agrupamiento de documentos se investigó para mejorar la precisión y la sensibilidad en los sistemas de recuperación de información y como una forma eficiente de encontrar a los vecinos más cercanos de un documento [3]. Recientemente, la agrupación se ha propuesto para enfrentar problemas generados por grandes colecciones de datos, como por ejemplo para navegar por colecciones de documentos, en la organización de los resultados arrojados por un motor de búsqueda en respuesta a una consulta del usuario, generar agrupaciones jerárquicas de grandes cantidades de documentos, entre otros.

Bajo esta problemática en este trabajo se presenta un prototipo de *software* que permite agrupar y visualizar documentos usando herramientas de *Big Data* como *Hadoop*, *ElasticSearch* y *Spark* para realizar almacenamiento y procesamiento distribuido de los documentos.

El documento está organizado así: en la sección II se presentan algunos trabajos relacionados con el área de agrupación de documentos y agrupación distribuida de documentos. En la sección III se presenta el trabajo realizado, en la sección IV se presentan algunas de las pruebas y resultados obtenidos, finalmente en la sección V se presentan las conclusiones.

Trabajos relacionados

La agrupación de documentos es una técnica de minería de datos que incluye conceptos de los campos de recuperación de la información, procesamiento del

lenguaje natural y aprendizaje automático, por lo que Shah y Mahajan hacen una revisión de los aspectos teóricos relacionados con esta, desde los métodos de agrupación de documentos, empezando por los métodos tradicionales y terminando en métodos difusos, genéticos, heurísticos orientados, entre otros, hasta procesos de selección de características, aplicaciones del agrupamiento de documentos, los desafíos en el agrupamiento de documentos, las medidas de similitud y evaluación de los algoritmos de agrupación de documentos [4].

Actualmente, muchos algoritmos de agrupación con diversos enfoques como se mencionó anteriormente se han implementado, por lo que se han desarrollado herramientas como *Carrot2* [5], el cual contiene una colección de algoritmos de agrupación que facilitan la exploración del contexto temático de los documentos recuperados a través de los motores de búsqueda o de una colección de textos en un ordenador o en un servidor.

Si bien existe una gran variedad de algoritmos, el crecimiento en la cantidad de documentos generados diariamente está produciendo un nuevo reto en los sistemas y los algoritmos de agrupamiento, por lo que sistemas escalables como *Hadoop* o *Spark* han empezado a tomar fuerza y propuestas de algoritmos escalables que se ejecutan sobre estos sistemas escalables han empezado a surgir.

En el año 2012 Bahmani y Moseley proponen una versión escalable del algoritmo *KMeans* llamada "*KMeans* | |" [6], en el cual se adapta el algoritmo, para poder ejecutarlo de manera distribuida y se presenta una variante en la selección de los centroides iniciales, la cual es óptima cuando la cantidad de agrupaciones a generar es de gran tamaño lo cual es muy común en sistemas que se manejan grandes cantidades de documentos.

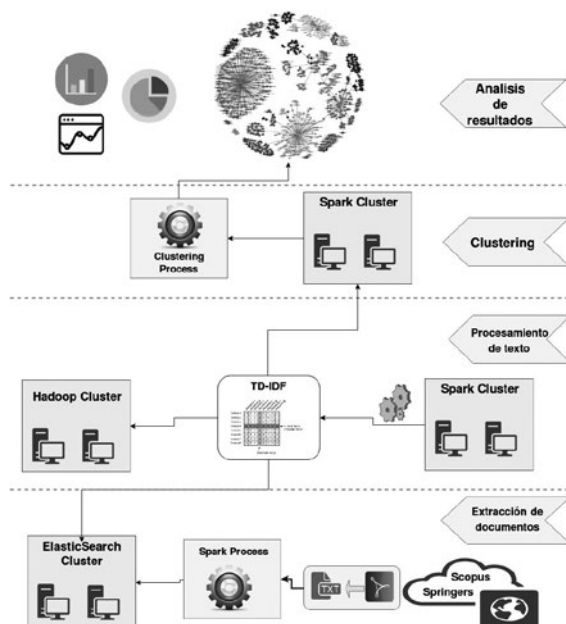
Mientras en el año 2014 Shah y Mahajan presentan un trabajo donde se hace una implementación distribuida del algoritmo *KMeans* sobre el *framework Hadoop* [7], con el fin de medir el rendimiento del algoritmo comparando los tiempos de procesamiento con 1 equipo vs varios equipos interconectados por medio de *Hadoop*.

Propuesta escalable para la agrupación y visualización de documentos

En la Fig. 1, se muestra un diagrama general de la arquitectura propuesta. Esta arquitectura tiene cuatro capas: la primera, es la capa de obtención de documentos científicos, los cuales se extraen de fuentes como *Scopus* y *GrupLac* en formato PDF. Estos documentos se transforman a texto plano y luego se

indexan en un clúster de *ElasticSearch*. La segunda capa es la que se encarga de procesar los documentos científicos obteniendo un vector de características, el cual es almacenado posteriormente en *ElasticSearch* y al cual se le aplicará los algoritmos de agrupamiento.

Fig. 1
Arquitectura del prototipo



En la tercera capa se ofrecen algoritmos de agrupación al usuario final, mediante el cual, puede obtener grupos de documentos similares basados en su contenido. Finalmente, la cuarta capa ofrece al usuario la posibilidad de ver y analizar cada uno de los grupos generados por el algoritmo de agrupamiento aplicado.

Extracción de datos

Este módulo toma como entrada una lista de grupos de investigación registrados en GRUPLAC junto con sus respectivos identificadores, y por cada grupo, descarga la información pública contenida en la plataforma *Scienti*. Haciendo uso de técnicas de *Web Crawling* y expresiones regulares recupera los títulos y los metadatos disponibles para cada una de las publicaciones de los grupos de investigación, para luego realizar consultas a diferentes fuentes de datos bibliográficos como, por ejemplo, *Google Scholar*, *Springer Link*, *Scopus*. A partir de los datos consultados se obtiene el texto completo de estas publicaciones en formato PDF. Con el fin de facilitar su procesamiento, los documentos en PDF

se convierten a texto plano y se indexan en *ElasticSearch*, utilizando un proceso distribuido basado en *Spark*.

Procesamiento de los documentos

Tokenización

Antes de realizar cualquier análisis lingüístico o de procesar un documento es necesario encontrar y separar cada uno de los elementos que lo conforman, para ello se emplean los tokenizadores (también conocidos como analizadores léxicos o segmentadores de palabras) segmentan un conjunto de caracteres en unidades con significado llamados *tokens* [8], por lo general estos suelen ser palabras.

Lematizador o Stemmer

“Es una parte del procesamiento lingüístico que trata de determinar el lema de cada palabra que aparece en un texto. Su objetivo es reducir una palabra a su raíz, de modo que las palabras clave de una consulta o documento se representen por sus raíces en lugar de las palabras originales” [9]. En este trabajo se utilizó el algoritmo *porter* para realizar el *stemming* de las palabras.

Eliminación de stopwords

En los documentos es muy común la aparición de palabras que son muy frecuentes, pero carecen de significado o importancia en el mismo. Estas palabras son conocidas como *stopwords* o palabras vacías, dentro de esta categoría se encuentran artículos, pronombres, preposiciones entre otros y son filtradas durante el procesamiento de datos en lenguaje natural (texto). Este proceso no solo reduce el tamaño de la entrada, sino que también da más efectividad al proceso de agrupación.

Frecuencia de término – frecuencia inversa de documento

Es uno de los métodos empleados para la creación de listas de palabras clave para los sistemas de búsqueda de información, es la unión de dos métricas, la primera de ellas es la de frecuencia del término, *term frequency* o TF y la segunda que es la frecuencia inversa de los documentos, *inverse document frequency* o IDF.

El método de TF-IDF genera listas de palabras clave con una calificación o peso que indica qué tan relevante es la palabra con respecto al documento seleccionado y al corpus en general. Además, estas listas permiten calificar a los documentos del corpus con base en estas palabras claves, dicho de otra manera, si las palabras claves tienen un gran peso, entonces el documento está más relacionado con ellas, que uno con las mismas palabras clave, pero con menor peso.

En general TF-IDF se expresa bajo la siguiente fórmula:

$$w_{ij} = \frac{freq_{ij}}{\max freq_{ij}} \times \log \frac{N}{n_i}$$

$$w_{ij} = \frac{freq_{ij}}{\max freq_{ij}} \times \log \frac{N}{n_i} \quad (1)$$

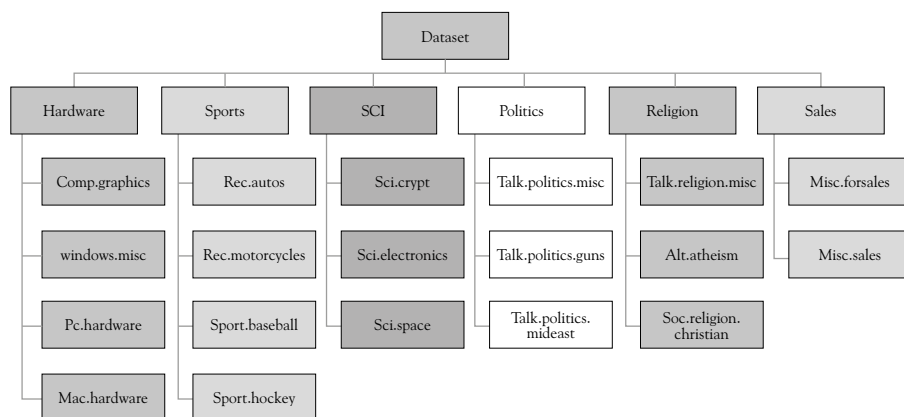
Donde, w_{ij} es el grado de relevancia de la palabra ii para el documento jj . $freq_{ij}$ Es la frecuencia de la palabra ii en el documento jj . La frecuencia se normaliza al dividirla con $\max freq_{ij}$ (número de documentos en que aparece la palabra ii). Luego se multiplica por el logaritmo del cociente entre número de documentos en la colección (N) y el número de documentos anotados con la clase i (n_i).

Clustering de documentos

En esta etapa se procedió con pruebas para establecer cual o cuales de los algoritmos de agrupación ofrecidos por *Spark* en su componente de *Machine Learning* (Kmeans++ - Bisecting KMeans - LDA), se seleccionan para que el usuario final realice la agrupación de los documentos.

Para realizar las pruebas de estos algoritmos se decidió medir la correctitud de los mismos, para ello se usó un conjunto de datos que estuviera previamente agrupado, de tal forma que permita medir la calidad del resultado de la agrupación de los documentos. El conjunto de datos usado para estas pruebas fue “20 Newsgroups Dataset”, este conjunto de datos consiste en una colección de 20 grupos de noticias con 20.000 documentos, repartidos uniformemente [10], como se muestra en la Fig. 2.

Fig. 2
Organización de “20 Newsgroups dataset”



Los datos se organizan en 20 grupos diferentes de noticias, cada uno correspondiente a un tema diferente, en los cuales se encuentran grupos de noticias que están estrechamente relacionados entre sí, aquellos del mismo color como se muestra en la Fig. 2.

Estas pruebas consistieron en tomar documentos de diferentes grupos de este conjunto de datos y realizar la agrupación de los mismo, esperando como resultado de la agrupación, que las agrupaciones obtenidas sean los más similares posibles a las agrupaciones establecidas por el conjunto de datos 20 *News*groups Dataset.

Algunos de los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1
Resultados de la agrupación de documentos con los algoritmos

Algoritmo	Temas	Documentos bien agrupados	Documentos mal agrupados	% de Correctitud
Kmeans++	- Alt-atheism - Misc.forsale	1972	28	98,6%
Kmeans++	- Graphics - Motorcycles - Space - Politics.misc	3864	136	96,6%
BKM	- Alt-atheism - Misc.forsale	1966	34	98,3%
BKM	- Graphics - Motorcycles - Space - Politics.misc	3798	202	94,95%
LDA	- Alt-atheism - Misc.forsale	1600	400	80%
LDA	- Graphics - Motorcycles - Space - Politics.misc	No se pudo establecer debido a la mala calidad de las agrupaciones	No se pudo establecer debido a la mala calidad de las agrupaciones	No determinado

Debido a los resultados obtenidos en estas pruebas se logró establecer que el algoritmo LDA daba agrupaciones de baja calidad. Mientras los algoritmos *K-Means++* y *Bisecting-KMeans*, en general agruparon los documentos con bastante exactitud. Dados estos resultados se estableció aprovisionar al sistema con los algoritmos *K-Means++* y *Bisecting-KMeans*.

Visualización de resultados

En esta etapa el sistema permite analizar los resultados arrojados por la agrupación con las siguientes funcionalidades

Documentos de cada agrupación: el prototipo permite ver los documentos pertenecientes a cada agrupación, después de realizar la agrupación de los documentos.

Análisis de las agrupaciones: análisis de cada agrupación mediante gráficos que permiten ver que autores hay con más documentos, temas abordados por los documentos del clúster y cantidad de publicaciones realizadas por año.

Grafo del clustering: permite la creación del grafo donde se pueda visualizar el resultado del *clustering*, representando cada clúster con sus documentos asociados de forma visual.

Resultados

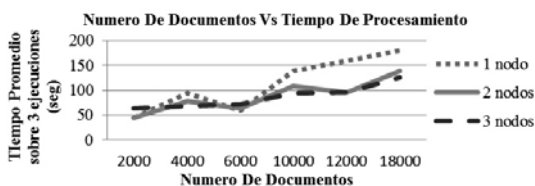
Bajo el clúster de *Spark* configurado con máquinas con las siguientes características:

Tabla 2
Especificaciones nodos de procesamiento del clúster

Marca	Cantidad	Procesador	Memoria
Dell Optiplex 745	3	Intel Dual Core 2	2 GB

Se realizó la ejecución del algoritmo *Kmeans++* sobre el conjunto de datos “20 *newsgroups*” incrementando gradualmente el número de documentos desde 2000 hasta 18000 documentos. Registrando los tiempos de ejecución sobre el clúster de *Spark* con 1, 2 y 3 máquinas respectivamente. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura:

Fig. 3
Mejoramiento del rendimiento aumentando el número de nodos de procesamiento



Conclusiones y trabajos futuros

En este Artículo se presentó una arquitectura escalable para hacer agrupación de documentos científicos, donde se logró integrar herramientas para el procesamiento y almacenamiento distribuido, se aplicaron algoritmos de agrupamiento escalables y se usaron algunas técnicas de procesamiento de lenguaje natural.

Debido al uso de una arquitectura escalable en los resultados se logra evidenciar mejoras considerables en los tiempos de respuesta realizando el proceso de agrupamiento de los documentos a medida que se aumenta la cantidad de documentos y el número de nodos de procesamiento.

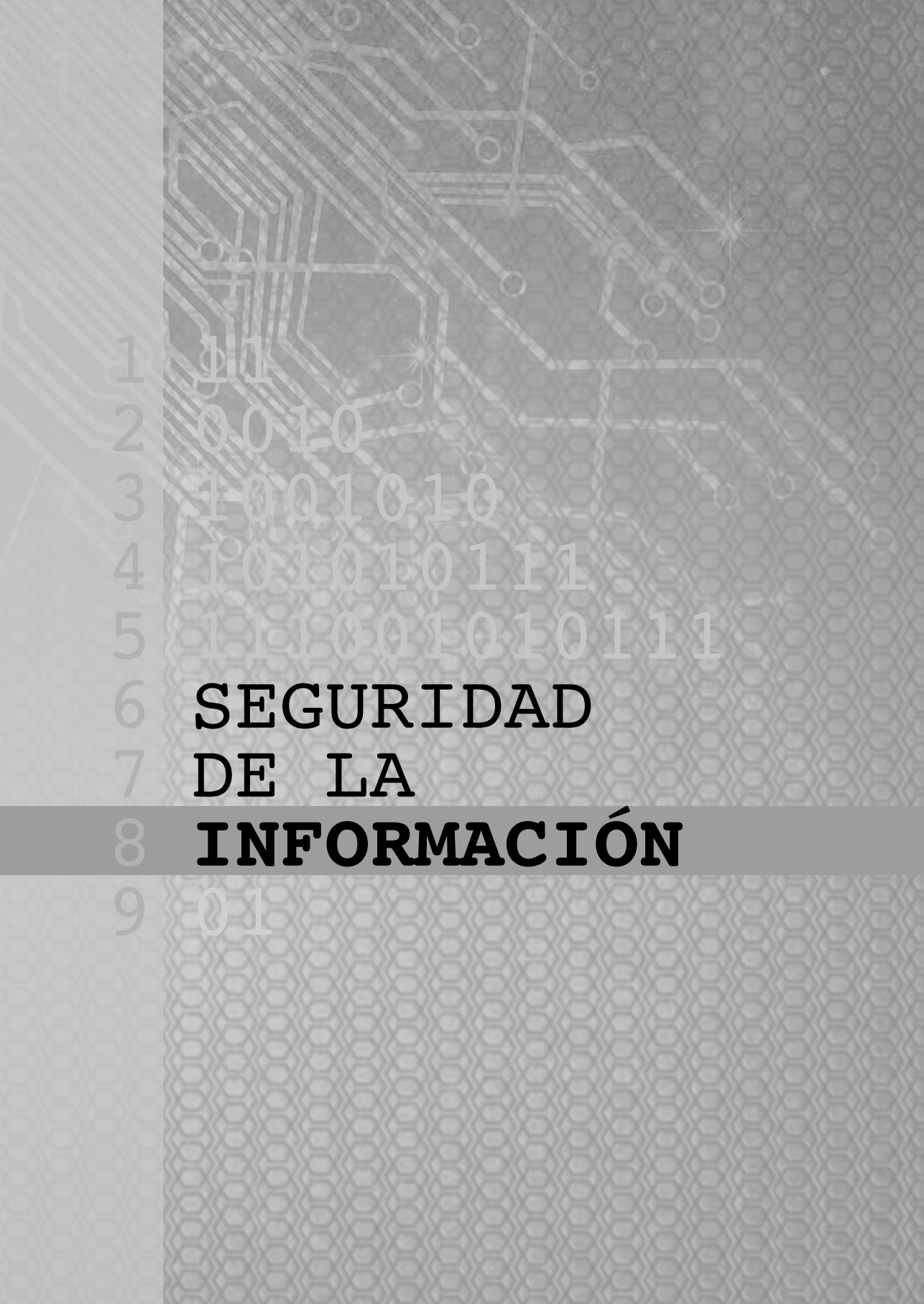
Se evidencia agrupaciones de mejor calidad con los algoritmos *K-Means++* y *Bisecting K-Means* con respecto al algoritmo LDA.

Como trabajo futuro se planea configurar un entorno de pruebas que involucren volúmenes más grandes de documentos científicos, la evaluación de otros algoritmos de agrupamiento y un clúster de procesamiento con más equipos.

Referencias

- [1] Scimagojr.com, SJR - International Science Ranking. (2016). [Online]. Available: <http://www.scimagojr.com/countryrank.php>. [Accessed: 15-Jan-2016].
- [2] Tauro J M Clarence, A. S, and A B Shreeharsa, "Comparative Study of the New Generation, Agile, Scalable, High Performance NOSQL Databases," *Int. J. Comput. Appl.* 0975 – 888, vol. 48, no. 20, pp. 1–4, 2012.
- [3] A. McCallum, K. Nigam, and L. L. H. Ungar, "Efficient clustering of high-dimensional data sets with application to reference matching," *Proc. sixth ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discov. data Min.*, pp. 169–178, 2000.
- [4] N. Shah and S. Mahajan, "Semantic based Document Clustering: A Detailed Review," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 52, no. 5, pp. 42–52, 2012.
- [5] S. Osinski and D. Weiss. (2014). Carrot2 - Open Source Search Results Clustering Engine [Online]. Available: <http://project.carrot2.org/>.
- [6] B. Bahmani, B. Moseley, A. Vattani, R. Kumar, and S. Vassilvitskii, "Scalable K-Means ++," *Proc. VLDB Endow.*, vol. 5, pp. 622–633, 2012.
- [7] N. Shah and S. Mahajan, "Distributed Document Clustering Using K-Means," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 4, no. 11, pp. 2277–128, 2014.

- [8] P. Drouin, “Review of ‘Natural language processing for online applications: Text retrieval, extraction and categorization’ by Peter Jackson and Isabelle Moulinier,” *Terminology*, vol. 10, no. 1. pp. 177–179, 2004.
- [9] Universitat Pompeu Fabra., *Hipertext.net*. Universidad Pompeu Fabra, 2012.
- [10] T. Mitchell. (2008). UCI Machine Learning Repository: Twenty Newsgroups Data Set [Online]. Available: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Twenty+Newsgroups>. [Accessed: 14-Jan-2017].



1 11
2 0010
3 1001010
4 101010111
5 111001010111

6 **SEGURIDAD**
7 **DE LA**
8 **INFORMACIÓN**

9 01

(SUBMISSION 169)

Evaluación de seguridad en redes inalámbricas

CLAUDIO CASADO BARRAGÁN

CRISTIAN BARRÍA HUIDOBRO

*Escuela de Ingeniería Informática, Universidad Mayor
Santiago, Chile*

MIGUEL FÉLIX MATA

*Instituto Politécnico Nacional Del Gustavo A. Madero
Ciudad de México, México*

LORENA GALEAZZI

*Conectividad y Redes, Instituto Profesional DuocUC
Santiago, Chile*

Resumen

En el último tiempo, el vertiginoso desarrollo de la tecnología ha tenido como principal foco el crecimiento de los dispositivos móviles o inalámbricos. Éstos últimos, sustentan su predominancia en el mercado de las tecnologías gracias al fuerte auge de las redes inalámbricas, las cuales han experimentado un rápido avance dada su masiva implementación tanto en el sector público como en el privado. Es por lo anterior que los riesgos a los cuales se enfrentan este tipo de redes se ha agravado, poniendo en riesgo la integridad, disponibilidad y confidencialidad de la información que viaja a través de éstas. Debido a esto, es necesario que se establezca una metodología de evaluación de seguridad aplicada las redes inalámbricas, considerando la forma y la elección correcta de los elementos a utilizar.

Palabras clave: wireless, network, penetration testing, information security.

Introducción

Con la exposición del servicio de internet, el desarrollo de las telecomunicaciones dio un rotundo cambio de dirección en los últimos años, en donde la sociedad es la que impulsa a crear sistemas y/o productos que satisfagan la demanda de los usuarios, basada principalmente en la capacidad de mantener una conexión constante, las 24 horas del día y sin interrupción. Su impacto ha sido profundo en la sociedad y, durante los últimos dos años, los accesos a internet a nivel nacional han aumentado un 45,3 %. Lo anterior conlleva a que sea la sociedad la que impulsa a la ciencia a crear sistemas y/o productos que satisfagan la demanda de los usuarios, basadas principalmente en la capacidad de mantener una conexión ininterrumpida, las 24 horas del día, lo que a su vez ha desembocado en el impulso de tecnologías para transferencia de información que no dependan de un medio físico como es un cable [15], [12].

Dado el crecimiento acelerado en la demanda de este tipo de tecnologías, es que las empresas proveedoras del servicio enfocan toda su productividad en avances y mejoras a nivel de *hardware*, *software*, velocidad, estabilidad y calidad de las conexiones, pero, al instalar sus servicios, no entregan la seguridad que deberían tener los dispositivos que forman parte de la red. Sumado a lo anterior, si se considera que la principal debilidad de los sistemas de información ante ataques informáticos radica en las vulnerabilidades humanas, en gran medida por el desconocimiento y poca conciencia del ser humano frente a temas de seguridad de información, se deduce que los usuarios finales no tienen noción de las consecuencias al conectarse a una red inalámbrica sin las debidas configuraciones de seguridad [12], [7].

El presente trabajo tiene como comprender las redes inalámbricas tanto en su topología como en las características de los dispositivos que la conforman, determinando las variables y factores a considerar a la hora de realizar un test de penetración que permita analizar la seguridad de una red no cableada, aportando a la investigación con la definición de una metodología de pentesting con un enfoque diferente.

El artículo plantea, en la sección dos, los trabajos relacionados que aportaron teóricamente la investigación y a la definición de los factores que se deben considerar en este tipo de análisis de seguridad. En la sección tres, se realiza un análisis de los elementos recolectados

Trabajos relacionados y análisis de variables

Se conocen, según diversos autores, diferentes fases generales para realizar actividades de testing o análisis de seguridad, además de hacer referencia a

herramientas, técnicas y procesos, cada una con su finalidad y que se adecuan a una o varias fases de las antes mencionadas.

A continuación, se representa a través de la Tabla 1, la relación antes mencionada entre los diferentes autores estudiados y las fases que cada uno considera a la hora de realizar un análisis de seguridad sobre una red inalámbrica.

Tabla 1
Fases para evaluación de seguridad según autores

Autor	Explotación	Análisis	Ataque	Explotación	Ref
Salvietti	x	x	x	x	[15]
J. Cache	x	x	x	x	[10]
Raghuveer		x	x		[14]
Viehböck		x	x		[18]
Stubblefiel		x	x		[2]
Frederick		x	x		[9]

Seguido, se detallan las diferentes fases antes mencionadas.

Fase de exploración

Consiste en realizar una búsqueda o escaneo de las redes inalámbricas a las cuales se tenga alcance, con la finalidad de reconocer el objetivo al que se le realizará la prueba de seguridad, lo que permite reunir la información a utilizar en la fase de análisis. La actividad principal en esta fase es el escaneo de redes, el cual puede ser pasivo o pasivo [10]. Técnicas como wardriving, es decir, la búsqueda los puntos de acceso activos mientras se recorre un área o sector específico usando una tarjeta inalámbrica son suficientes para esta fase [16].

Fase de análisis

Consiste principalmente en realizar un estudio de cada variable o dato encontrado en la fase previa (BSSID, MAC, ISP, etc), realizando un análisis que permita definir las ventajas y desventajas, detalles de configuración y uso de las diferentes herramientas que apoyarán la ejecución del ataque o prueba de seguridad [10].

Las variables a considerar en esta etapa son las siguientes:

- Cifrado: los estándares de cifrados definidos por la IEEE son: WEP, WPA, WPA2. El primero es extremadamente vulnerable ya que utiliza cifrado RC4, con llave pública de 64 bits, transmitida en texto claro. No ofrece seguridad de extremo a extremo. El segundo, es más seguro que WEP ya que fue creado como medida correctiva ante la inseguridad de éste, incluyendo control de integridad a los mensajes que gestiona. Usa algoritmo de

cifrado Michael y TKIP (Temporal Key Integrity Protocol). Finalmente, WPA2 fue creado para consolidar a su predecesor como un mecanismo de cifrado seguro, siendo más robusto, eficiente y complejo de romper que WEP y WPA ya que además de las características incorporadas en WPA, incluye 4 Ways Handshake y algoritmo de cifrado CBC-MAC, además de CCMP-AES como protocolo de seguridad [10,6].

- Certificado Alianza WiFi: programa opcional presente en routers, certificado por la Alianza Wi-Fi, que está diseñado para facilitar la tarea de instalación y configuración de la seguridad en las redes de área local inalámbricas y, por ende, estos dispositivos lo llevan activado por defecto. Utiliza el intercambio de PIN de 8 dígitos, que consiste en que el dispositivo debe transmitir un código numérico al punto de acceso para que a cambio este último le envíe los datos para acceder a la red, dejando de lado la seguridad entregada por las técnicas de cifrado [18], [13].
- Antena: se debe considerar la antena utilizada por el punto de acceso de la red como variable. Factores como la ganancia, que determina la potencia de la señal de salida en una dirección particular, y la direccionalidad, capacidad del aparato para dirigir la energía en direcciones preferidas, mostrarán el área efectiva que cubre la señal emitida [21].

Fase de ataque

En esta etapa es donde se determinarán los lineamientos del ataque a la red inalámbrica basados en la información recolectada en la fase anterior. El ataque tiene como objetivo general el obtener acceso a la red, y puede realizar acciones pasivas o activas, es decir, sólo capturar información si alterarla o capturar y realizar modificaciones, respectivamente [10].

Al igual que en la fase anterior de la evaluación de seguridad, las variables a considerar son las siguientes:

- Tarjeta inalámbrica: a diferencia de la fase de análisis, en esta etapa se considera el uso de tarjetas de red inalámbricas únicamente si son compatibles con la funcionalidad de modo monitor, lo que es similar a poner en modo promiscuo una tarjeta de red Ethernet. Para lo anterior, es necesario que el conjunto de chips pertenecientes a la tarjeta y los controladores de dispositivo de éstas sean compatibles con esta modalidad [19].
- Antena inalámbrica: es de suma consideración ya que es a través de ésta que se realizará la conexión con el punto de acceso de la red objetivo. Factores como la ganancia, área efectiva, direccionalidad y el tipo de antena a seleccionar son factores que se deben tener en cuenta al momento de considerar esta variable si se tiene en cuenta que las antenas de tipo omnidireccional

tienen mayor presencia en la construcción de puntos de acceso, seguidas de las antenas de tipo sectorial. Se debe considerar que ambos tipos de antena mencionados anteriormente permiten conexiones únicamente con antenas de su mismo tipo. El tipo de antena helicoidal tiene la capacidad de establecer conexión con cualquier otro tipo de antena, sin embargo, éstas son muy difíciles de confeccionar [21], [4].

Fase de explotación

Corresponde a la fase de la evaluación de seguridad en la que se lleva a cabo el plan de ataque definido en la fase anterior. Utiliza diversas herramientas cuya función es realizar actos maliciosos como monitoreo o alteración de los paquetes de información que circulan por la red [15].

Análisis de variables

En esta sección se expone a través de la Tabla 2, el análisis de las variables mencionadas en las secciones anteriores, identificando su incidencia en la realización del pentesting.

Tabla 2
Fases para evaluación de seguridad según autores

F	Variable	Factor	Incidencia	Ref
Exploración	Tarjeta Red	Controladores de dispositivo	Presente en dispositivos móviles desde gama media	[20]
		Conjunto de chips		
Análisis	Cifrado	WEP	100% vulnerable	[10,6]
		WPA	Vulnerable mediante fuerza bruta. Sin certeza de éxito	[1]
		WPA2		
	WPS	Activo/Inactivo	Permite bypass de variable de cifrado. Tiempo máximo para encontrar PIN menor a 4 horas.	[18,13]
	Antena	Ganancia	Definición de factores como ubicación física y compatibilidad de antena para ataque, proximidad mínima del objetivo.	[21]
		Direccionalidad		
		Tipo		
Ataque	Antena	Ganancia		
		Área efectiva		
		Direccionalidad		
		Tipo		
	Tarjeta Red	Controladores de dispositivo	Compatibilidad con modo monitor para asegurar la captura de información	[19]
		Conjunto de chips		

Análisis de herramientas

En esta sección se expone a través de la Tabla 3, el análisis de las variables mencionadas en las secciones anteriores, identificando su aporte o restricción en la realización del pentesting.

Tabla 3
Fases para evaluación de seguridad según autores

F	Herramienta	Función	Aporte/restricción	Ref
Exploración	WiGLE	Escaneo pasivo y wardriving	Presente sólo para sistema operativo Android	[20]
	WiFi Analyzer			[17]
Análisis	Architecture of Radio	Escaneo gráfico de señales de radio	Presente para sistema operativo Android e iOS	[5]
	MAC Finder	Identificación de ISP	Aplicación Web	[8]
	Aircrack-ng	Análisis, monitoreo y testing de redes inalámbricas	Presente en sistemas como Kali Linux, Wifi Slax, Pentoo y como aplicativo individual	[3]
Explotación	Aircrack	Ataques de fuerza bruta para recuperación de PSK, desautenticación,		
	Wireshark	Monitoreo de tráfico de red		[11]

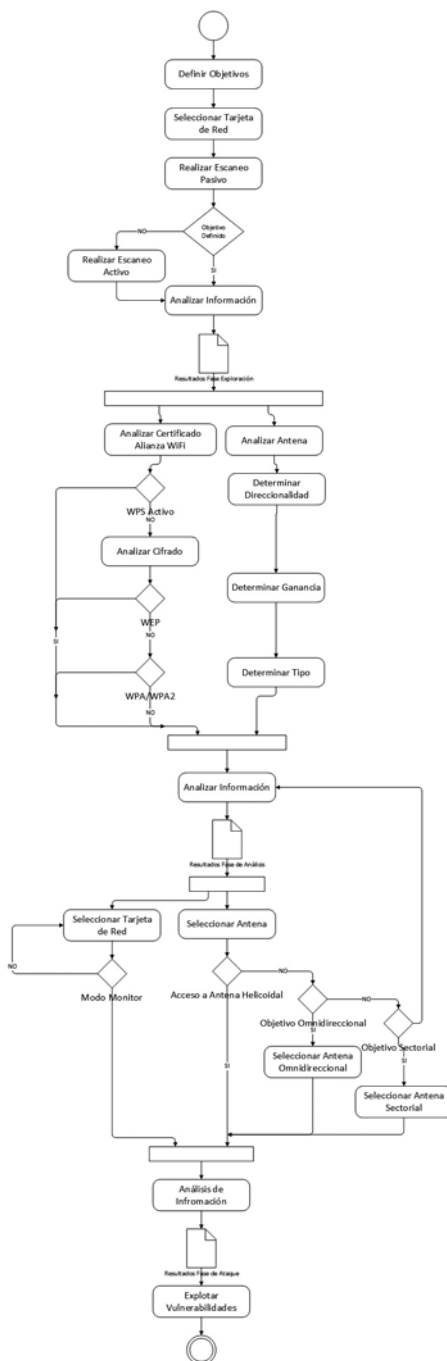
Aporte de la investigación

Como aporte a la investigación, se plantea una metodología para la realización de análisis de seguridad en redes inalámbricas basada en el análisis de las variables que influyen. En la Figura 1, se presenta a través de un diagrama de flujo, la metodología planteada.

Conclusiones

Para poder llevar a cabo ejercicios de evaluación de seguridad y además un pentesting a una red inalámbrica, surge la necesidad de contar con una guía base para la orientación de éste. La presente investigación propone un aporte a dicha problemática con la elaboración de una metodología diferente que facilite, o, en su defecto sirva de apoyo en la realización de pruebas de seguridad,

Fig 1
Metodología de pentesting wireless



análisis de riesgo y ejecución de pentesting sobre redes inalámbricas. En esta investigación se efectuó una correlación de la información obtenida para definir, en primer lugar, las diferentes fases de éste proceso, para posteriormente realizar una lista de variables que influyen directamente en la efectividad de los ataques, además de tener como una visión anticipada del posible resultado del trabajo considerando que es desarrollado en un ambiente real. Esta visión anticipada se sustenta en las consideraciones que entregan las diferentes variables que afectan e influyen al ejercicio de evaluación de redes inalámbricas.

Lo anterior proporciona una visión estructurada y estandarizada de los pasos a seguir, las variables a considerar y las herramientas y técnicas a las cuales acudir al momento de requerir de la realización de este tipo de pruebas, entregando una visión planificada del proceso completo de pentesting que permita, de una forma preliminar, tener una noción del resultado del mismo.

Trabajo futuro

Como trabajo futuro, se plantea una investigación en mayor profundidad de cada una de las fases planteadas en éste trabajo, lo que podría aportar con la ampliación del espectro de variables que pudieran influir en la realización del pentesting.

Por otro lado, se plantea la realización de investigaciones con mayor grado de profundidad para cada una de las variables levantadas en el presente trabajo de investigación, lo que reforzará el contenido de éste con el levantamiento de sub-variables que pudiesen ser detectadas y que pudieren afectar directa o indirectamente la realización de una prueba de seguridad orientada a redes inalámbricas. Lo anterior, se realiza con la finalidad entregar cada vez mayor solidez al aporte propuesto en la presente investigación.

Finalmente, continuando con la visión futura de entregar solidez a la metodología planteada, y, basados en la información entregada con la profundización investigativa antes mencionada, se buscará la cuantificación de las variables que conforman la red y que inciden en la realización de las pruebas de seguridad.

Referencias

- [1] Abdillahi Hassan Adnan; Mohamed Abdirazak; A. B. M Shamsuzzaman Sadi; Towfique Anam; Sazid Zaman Khan; Mohammed Mahmudur Rahman; Mohamed Musse Omar. "A comparative study of WLAN security protocols: WPA, WPA2". 2015 International Conference on Advances in

- Electrical Engineering (ICAEE). Pp. 165-169. IEEE Publisher Publications. Dhaka, Bangladesh. 2015.
- [2] Stubblefiel, J. I. (mayo de 2004). A Key Recovery Attack on the 802.11b Wired Equivalent Privacy Protocol (WEP). ACM Transactions on Information and System Security [En Línea]. Disponible en: <http://www.cs.umd.edu/~waa/414-F11/p319-stubblefield.pdf>.
 - [3] aircrack-ng.org. (2016). [En Línea]. Disponible en: <http://www.aircrack-ng.org/doku.php>.
 - [4] Alberto Escudero Pascual. Unidad 08: Antenas y Cables. J. F. (2007).
 - [5] Architecture of Radio [En Línea]. Disponible en: <http://www.architectu-reofradio.com/>
 - [6] Beal, V. (s.f.). WEP - Wired Equivalent Privacy: QuinStreet Enterprise [En Línea]. Obtenido de Quinstreet Enterprise: <http://www.webopedia.com/TERM/W/WEP.html>.
 - [7] Casado, C. Barría, M. Palma. "Vulnerabilidades Humanas: Explotación mediante la aplicación de Ingeniería Social en Dispositivos Móviles Android usando Metasploit y Armitage". IEEE 11° Colombian computer Congress (11CCC). Popayán, Colombia. 2016.
 - [8] Find MAC Adress Vendors [En Línea]. Disponible en: <https://macvendors.com/>
 - [9] Frederick T. Sheldon, J. M.-M. (mayo de 2012). The Insecurity of Wireless Networks. Huntsville: Copublished by the IEEE Computer and Reliability Societies.
 - [10] Johnny Cache, J. W. (2010). Hacking Exposed Wireless: Wireless Security Secrets and Solutions. Osborne: The McGraw-Hill Companies.
 - [11] Learn Wireshark [En Línea]. Disponible en: <https://www.wireshark.org/#learnWS>.
 - [12] National Cybersecurity Policy (NCP) 2017-2022. Gobierno de Chile, Santiago, Chile [En Línea]. Disponible en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
 - [13] Qué es wps pin y por qué debes desactivarlo [En Línea]. Disponible en: <https://www.osi.es/es/actualidad/blog/2014/11/07/que-es-wps-pin-y-por-que-debes-desactivarlo>.
 - [14] Raghuveer Singh Dhaka, A. D. (marzo de 2012). AirtPTWFRag: A New Wireless Attack. International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 3.

- [15] Salvetti, D. (2012). *Redes Wireless*. Reduser. 1a ed. - Buenos Aires: Fox Andina; Dalaga, 2011.
- [16] Stuti Gupta, Bharat S. Chaudhari, Boudhayan Chakrabarty. "Vulnerable Network Analysis using Wardriving and security intelligence. International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT). Pp. 1-5. IEEE Conference Publications. 2016.
- [17] Turn you Android phone into a handy Wi-Fi analyzer! [En Línea]. Disponible en: <http://a.farproc.com/wifi-analyzer>.
- [18] Viehböck, S. (diciembre de 2011) [En Línea]. Disponible en: https://sviehb.files.wordpress.com/2011/12/viehboeck_wps.pdf.
- [19] ¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.. [En Línea]. Disponible en: <http://www.realtek.com.tw/products/productsView.aspx?Langid=1&PFid=1&Level=6&Conn=5&ProdID=36>.
- [20] www.wigle.net (2016). [En Línea]. Disponible en: <https://wigle.net/tools>.
- [21] Yi Huang, K. B. *Antenas from theory to practice*. Wiley. 2008.



1 11
2 0010
3 1001010
4 01010101011
5 0010101010101
6 1010101110
7 111011
8 0100

9 POSTERS

(SUBMISSION 72)

Sistema remoto electrónico incorporado para la adquisición, acondicionamiento y transmisión de señales de vibración

JUAN CAMILO MEJÍA HERNÁNDEZ
JULIAN DAVID ECHEVERRY CORREA
ÁLVARO ÁNGEL OROZCO GUTIÉRREZ
*Universidad Tecnológica de Pereira
Colombia*

Resumen

Las señales de vibración son usadas generalmente para detectar fallos en máquinas rotativas. En la actualidad existen diferentes metodologías para realizar análisis basado en dichas señales. Una metodología usada extensamente es el Mantenimiento Basado en Condición (CBM). CBM es un mantenimiento programado que recomienda acciones basadas en información recolectada. Actualmente, para la adquisición de señales de vibración se usan comúnmente Redes de Sensores Inalámbricos (WSNs por sus siglas en inglés). Los WSNs son redes formadas por una cierta cantidad de nodos, cada nodo está equipado con un sensor para identificar un fenómeno físico como la luz, presión, temperatura, etc. En este artículo, se propone un robusto sistema basado en WSNs para la adquisición, almacenamiento y transmisión de señales de vibración, el cual combina un mecanismo de acondicionamiento, una tarjeta central y un dispositivo para la transmisión inalámbrica. El sistema propuesto cumple todas las funciones anteriores de manera automática y precisa para dos señales de vibración y una señal de velocidad.

Introducción

El mantenimiento preventivo tradicional busca maximizar la operación apropiada del equipo a través de una serie de rutinas de inspección realizadas en ciertos intervalos de tiempo. Una forma de mantenimiento preventivo es el Mantenimiento Basado en la Condición (CBM) [1], que es un programa de mantenimiento que recomienda acciones de mantenimiento (decisiones) basadas en la información recolectada a través del proceso de monitoreo de condiciones [2]. Para el proceso de recolección de información para realizar CBM, las señales de vibración son generalmente las más utilizadas ya que contienen información relevante sobre el estado del mecanismo [3]. Generalmente, las señales de vibración son adquiridas por acelerómetros piezoeléctricos conectados a un sistema de monitoreo. Sin embargo, la mayoría de los sistemas para la recolección de señales de vibración que actualmente se ofrecen requieren herramientas costosas de cálculo y no son automáticos o inalámbricos. Además, en algunos casos específicos, los sensores con cable son inseguros o imposibles de instalar en la máquina [4]. Para solucionar este problema, se han desarrollado múltiples redes inalámbricas de sensores (WSNs por sus siglas en inglés). WSN se basa en múltiples nodos de sensores ubicados en puntos estructuralmente críticos (recolectar aceleración, deformación, desplazamiento o mediciones ambientales) y transferir los datos adquiridos de forma inalámbrica a una estación base [7]. Recientemente, para monitorizar las señales de vibración de las máquinas giratorias se han desarrollado WSN, basado en Compuertas Programables en Campo (Field Programmable Gate Array FPGA) [6] o Sistemas Micro electromecánicos (Microelectromechanical Systems MEMs) [8], aunque con frecuencias de muestreo máximo de 20 kHz. Sin embargo, lo anterior representa un problema, ya que muchas fallas que se quieren analizar al monitorear máquinas rotativas están presentes en frecuencias de hasta 12 kHz [9]. De acuerdo con el teorema de Nyquist, la frecuencia de muestreo para el monitoreo de máquinas rotativas debe ser de al menos 25 kHz.

En este trabajo se propone un sistema embebido remoto para la adquisición, acondicionamiento y transmisión de señales de máquinas rotatorias. Dos señales de vibración y una de velocidad se obtienen de forma síncrona y automática desde una tarjeta central. La adquisición de señales se lleva a cabo automáticamente mediante un simple. El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 contiene el diseño del sistema y la descripción de cada parte que se compone. Los resultados para la validación de su funcionamiento se presentan en la sección 3. Finalmente, la sección 4 muestra las conclusiones.

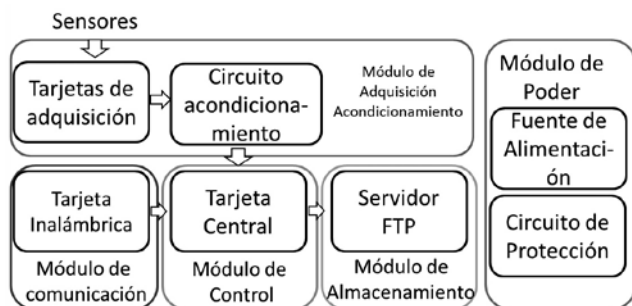
Sistema de adquisición

Usualmente, CBM se realiza a través del procesamiento de señales de vibración, obtenidos por acelerómetros posicionados magnéticamente sobre el sistema

analizados. Sin embargo, los acelerómetros usados para este propósito requieren complejos dispositivos para suplirlos en potencia y acondicionarlos. Debido a lo anterior, los sistemas disponibles comercialmente para realizar la adquisición y procesamiento de señales de vibración provenientes de sensores necesitan avanzadas y sofisticadas herramientas computacionales.

Para resolver el anterior problema, se diseñó un sistema para la Adquisición, Almacenamiento y Transmisión de Señales de Vibración (ASTV por sus siglas en ingles). ASTV está dividido en cinco diferentes módulos, los cuales se pueden apreciar en el diagrama de bloques de la Fig. 1.

Fig. 1
Diagrama de bloques del sistema de adquisición, almacenamiento
y transmisión de señales de vibración



Específicamente, los sensores son acondicionados mediante unas tarjetas diseñadas para suplir la potencia y transformar la señal de vibración en una señal alterna. Dicha señal de salida es modificada en amplitud y se le añade un nivel offset por un circuito de acondicionamiento, con el propósito de ser apta para adquirirse por la tarjeta central. La tarjeta central realiza adquisiciones y las almacena en forma de ficheros hasta que son enviadas a un servidor FTP a través de una red inalámbrica.

Módulo de adquisición y acondicionamiento

Comúnmente, los acelerómetros piezoeléctricos que se utilizan como sensores de vibración para CBM son mono axiales y la señal de vibración analógica se suministra de 4 a 20 mA. Estos acelerómetros necesitan circuitos de acondicionamiento para energizar y extraer la señal capturada. Es por ello que se utilizan primero tarjetas de adquisición para alimentar los sensores y entregan a su salida una señal en voltaje alterna de 12 voltios de amplitud, equivalente a la suministrada por el sensor. Por lo tanto, se implementa un circuito que acondiciona que modifica la amplitud de la señal y añade un desplazamiento de

nivel. Ahora, la señal de velocidad representa las revoluciones por minuto de la maquinaria en una señal con 12 voltios de amplitud y variante frecuencia. El circuito de acondicionamiento registra la señal y modifica su amplitud, lo que da una señal cuadrada de 0 a 1,8 voltios con la misma frecuencia que el original.

Módulo de control

El módulo de control está montado sobre una tarjeta central, la cual trabaja con un sistema operativo Debían. La tarjeta central tiene un procesador de 1GHz, la cual es responsable de la adquisición y almacenamiento de las señales de vibración. El procesador tiene siete canales de conversión análoga a digital (ADC), cada uno posee 12 bits de resolución y 200KHz de frecuencia de muestreo. Adicionalmente, la tarjeta central tiene un puerto USB de propósito general, el cual se utiliza en este caso para acondicionar el dispositivo que realizar la comunicación inalámbrica. Por último, el módulo de control tiene un reloj en tiempo real (RTC), conectado por I2C, cuyo objetivo es mantener la hora y fecha actualizada con la real. La Fig. 2 muestra la tarjeta central con todos sus dispositivos.

Fig. 2
Módulo de control



El módulo de control está configurado para adquirir diferentes señales. Dos de vibración y uno de velocidad, lo cual es una novedosa aportación, ya que dispositivos similares en el estado de los son sólo permiten la captura de una señal [13] [6]. Este proceso se realiza de forma automática o programable, ya que el tiempo de adquisición de la señal y las características del mismo se pueden escribir en un archivo de configuración. Debe tenerse en cuenta que el proceso

de adquisición es completamente automático y no requiere la intervención de un usuario externo. Es por eso que se adquiere la señal de velocidad, ya que será inútil capturar las señales de vibración procedentes de una máquina giratoria que no está en funcionamiento. Por lo tanto, el proceso de adquisición comienza cuando tanto el tiempo del RTC como el tiempo de ranura programado son iguales y la señal de velocidad excede un umbral establecido. El sistema carga el archivo de configuración con adquisición diaria y empieza a comparar el tiempo real hasta que coincide. La adquisición se realiza con una frecuencia de muestreo de 40KHz, que según el estado del arte [9] es apropiada para la detección de fallos de señales de vibración. Después de realizar la adquisición diaria, el sistema establece la comunicación con el servidor FTP. Posteriormente, los archivos se transfieren al servidor y se realiza un chequeo cruzado de la información para asegurarse de que los archivos se han registrado bien en el servidor.

Módulo de poder

ASTV es alimentado mediante una batería de litio recargable de 24 voltios (9Ah) y puede ser recargada a través de un circuito conectado directamente a la red eléctrica (110VAC). La señal de la batería pasa por un circuito de alimentación y protección construido para suplir las necesidades de los diferentes dispositivos que componen el sistema. El circuito tiene una salida de 5VDC y tres de 24VDC para la tarjeta central, las tarjetas de adquisición el circuito de acondicionamiento respectivamente. A lo largo de todos los procesos que realiza el ASTV, se hicieron mediciones de consumo de energía y se concluyó que casi toda la energía es consumida por la tarjeta central. Sin embargo, ASTV puede mantener todos sus sistemas en funcionamiento durante más de 18 horas seguidas.

Resultados experimentales

En esta sección, se han desarrollado múltiples experimentos con el objetivo de verificar la efectividad y precisión del ASTV. Para llevar a cabo dicha verificación el estado del arte [8] propone dos diferentes pruebas. La primera consiste en la adquisición de una señal sinusoidal a diferentes amplitudes y frecuencias, con el objetivo de comparar la establecida en el generador y la adquirida por el sistema. Luego, la segunda prueba consiste en la adquisición síncrona y simultánea de diferentes señales de vibración, mediante el ASTV y la tarjeta comercial NI9234 proveniente de la National Instruments, con el objetivo de comprobar las diferencias entre el ASTV y una tarjeta comercial. Para evaluar la adquisición síncrona del ASTV, las señales sinusoidales se capturan con frecuencias que varían de 500 a 15000 Hz y con amplitudes de 0,5 a 1,8 V. Las

ondas sinusoidales proceden de un generador de señal con refracción 4017A. A continuación, utilizando el MatLab, se realiza una comparación en términos de amplitud y frecuencia entre las señales generadas y almacenadas. La Tabla 1 muestra los resultados de las comparaciones de las señales.

Tabla 1
Resultados de la prueba de amplitud y frecuencia

Frecuencia (Hz)			Amplitud (V)		
Establecida	Medida	Error realtivo (%)	Establecida	Medida	Error realtivo (%)
500.000	500.048	0.009	0.500	0.501	0.107
1000.000	1005.548	0.554	1.000	0.996	0.371
2000.000	2017.211	0.860	1.000	1.004	0.312
3000.000	3004.019	0.133	1.500	1.497	0.156
5000.000	5019.531	0.390	1.500	1.509	0.469
10000.000	10008.544	0.085	1.800	1.792	0.796
15000.000	15029.296	0.195	1.800	1.794	0.629

Para realizar una correcta prueba del ASTV, se realizaron adquisiciones provenientes de una unidad motora en operación. La Fig. 6 muestra la prueba realizada, la cual comienza con la localización de dos acelerómetros PCB (RN102A) sobre el motor. La señal del primer acelerómetro es adquirida por el ASTV y sincronamente la señal del segundo acelerómetro es adquirida por el módulo de la National Instruments (NI) NI9234. Las adquisiciones se obtuvieron con el motor trabajando a 2000 revoluciones por minuto y tienen una duración de 5 segundos.

La Tabla 1 y 2 muestran los resultados de los análisis de las diferentes señales adquiridas por el ASTV. El resultado refleja la precisión del sistema cuando se compara con la tarjeta comercial NI9234. Ambas señales son consistentes, pero con pequeñas diferencias de amplitud y frecuencia. Las diferencias se pueden explicar por la resolución de la tarjeta NI9234 (24bits), la cual es mayor que la del módulo de control (12bits). Otra explicación se radica en la incertidumbre del marco experimental, puesto que los sensores son localizados exactamente en la misma posición y la vibración puede ser adquirida con pequeñas diferencias. Sin embargo, los resultados muestran claramente que el ASTV puede ser usado para la adquisición de señales de vibración provenientes de unidades motoras. En la Fig. 3 se puede ver como se realizó la prueba y en la Fig. 4 muestra una señal vibración en tiempo y frecuencia.

Tabla 2
comparación de los resultados entre el ASTV y la National Instruments NI

Prueba	ASTV	NI	Error Relativo (%)
	Frecuencia Central (HZ)	Frecuencia Central (HZ)	
1	247.121	247.365	0.098
2	431.963	427.936	0.941
3	724.521	724.725	0.028
4	977.736	1143.936	0.843
5	1146.236	1143.936	0.227
6	1658.325	1660.366	0.122

Fig. 3
Adquisición de señales de vibración a través del ASTV y NI.

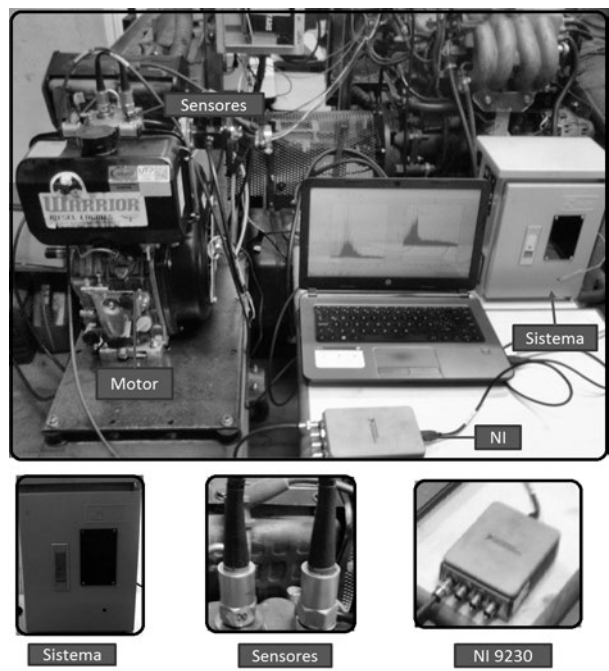
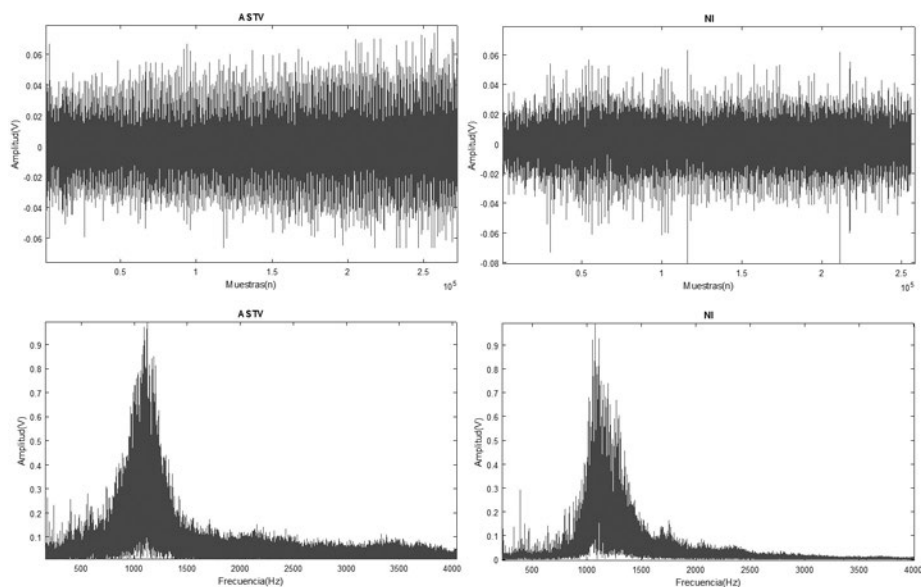


Fig. 4
Señales de vibración a través del ASTV y NI.
Tiempo (Arriba) – Frecuencia (Abajo)



Conclusiones

En este trabajo se describe el diseño e implementación de un nuevo sistema remoto electrónico incorporado para la adquisición, acondicionamiento y transmisión de señales de vibración. Este dispositivo cumple con todos los requisitos de frecuencia de muestreo y precisión en la adquisición de señales de vibración de unidades de motor para realizar el mantenimiento preventivo basado en WSN. La principal contribución de esta investigación es la adquisición de dos señales de vibración y una de velocidad, que junto con una configuración le hace un sistema totalmente automático. En la propuesta ASTV, el módulo de control está configurado para adquirir señales de vibración en tiempos establecidos y enviarlos a un servidor FTP, todo automáticamente durante casi 24 horas. ASTV tiene una alta frecuencia de muestreo de 40 kHz por canal y con un error relativo máximo de 1% en frecuencia y de 1,5% en amplitud. ASTV fue validada por diferentes pruebas de adquisición de señales de vibración, los resultados muestran que el sistema propuesto es efectivo para el monitoreo de máquinas vibratorias. Como prototipo, el ASTV puede mejorarse principalmente en dimensionalidad, específicamente en el módulo de potencia. Otra mejora será aprovechar las capacidades del módulo de control proporcionando un diagnóstico preliminar de las señales adquiridas, las cuales serán exploradas en el futuro.

Los autores agradecen a la Maestría en Ingeniería Eléctrica y Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira por su apoyo a lo largo de la investigación. Además, queremos agradecer a Colciencias por apoyar el proyecto titulado: „Diseño y desarrollo de un sistema prototipo en línea para el diagnóstico de motores de combustión interna diesel en servicio con base en vibraciones mecánicas. Aplicación a los sistemas de transporte público masivo“ con el código 1110 -669-46074, a través del cual se desarrolló la investigación descrita en este artículo.

Referencias

- [1] L. Yang, X. Ma, and Y. Zhao, “A condition-based maintenance model for a three- state system subject to degradation and environmental shocks,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 105, pp. 210–222, 2017.
- [2] R. Ahmad and S. Kamaruddin, “An overview of time-based and condition- based maintenance in industrial application,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 63, no. 1, pp. 135–149, 2012.
- [3] Plaza and N. López, “Surface roughness monitoring by singular spectrum analysis of vibration signals,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 84, pp. 516–530, 2017.
- [4] J. C. Chan and W. T. Peter, “A novel, fast, reliable data transmission algorithm for wireless machine health monitoring,” *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 58, no. 2, pp. 295–304, 2009.
- [5] R. Singh and A. Verma, “Energy efficient cross layer based adaptive threshold routing protocol for wsn,” *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 72, pp. 166–173, 2017.
- [6] Bengherbia, M. Zmirli, A. Toubal, and A. Guessoum, “Fpga-based wireless sensor nodes for vibration monitoring system and fault diagnosis,” *Measurement*, vol. 101, pp. 81–92, 2017.
- [7] S.-C. Bae, W.-S. Jang, S. Woo et al., “Prediction of wsn placement for bridge health monitoring based on material characteristics,” *Automation in Construction*, vol. 35, pp. 18–27, 2013.
- [8] Q. Huang, B. Tang, and L. Deng, “Development of high synchronous acquisition accuracy wireless sensor network for machine vibration monitoring,” *Measurement*, vol. 66, pp. 35–44, 2015.
- [9] Z. Wei, Y. Wang, S. He, and J. Bao, “A novel intelligent method for bearing fault diagnosis based on affinity propagation clustering and adaptive feature selection,” *Knowledge-Based Systems*, vol. 116, pp. 1–12, 2017.

(SUBMISSION 155)

Connect Four: aplicación móvil del juego de mesa Cuatro en línea, usando Minimax y procesamiento de imágenes

DANIEL ALEJANDRO OTERO

LUIS ALEJANDRO ÁLVAREZ

YANA SAINT-PRIEST

CARLOS OMAR MÁRQUEZ

*Universidad Santiago de Cali
Colombia*

Resumen

Los clásicos juegos de mesa como ajedrez, damas, batalla naval, 4 en línea, requieren una gran cantidad de procesos mentales que estimulan la creatividad humana; tener que seguir reglas, competir y construir estrategias fomenta la concentración. El presente proyecto es un aplicativo móvil que por medio de procesamiento de imágenes y el algoritmo minimax juegue cuatro en línea buscando incentivar el juego de mesa físico. Analizando los resultados de las pruebas, se concluye que la identificación es la etapa de más impacto en el procesamiento de imágenes para este proyecto.

Palabras clave: procesamiento digital de imágenes, algoritmo de búsqueda Minimax, aplicativo móvil de juego.

Introducción

En el mundo las tecnologías móviles han aportado un gran avance en la actualidad, sin embargo, su uso excesivo y mal empleado ha generado que el desempeño de las personas sea afectado y pierdan sus capacidades motrices y mentales. El resultado del estudio de [1] identifica que los videojuegos y aplicativos ocasionan deterioro de capacidades auditivas, visuales y mentales de las personas.

Por otro lado, los juegos de mesa han servido como psicoterapia a los niños mejorando sus necesidades defensivas, relaciones interpersonales y expresivas [2], también ofrecen mejoras en la educación, brindando entretenimiento a los estudiantes y facilitando a los profesores la comunicación y enseñanza [3]. Fomentan la memoria al tener que aprender las reglas y aplicarlas de la mejor manera [4], brindando muchos beneficios.

Según las estadísticas las personas pasan gran parte de su tiempo en un Smartphone lo que conlleva a no tener el tiempo para juegos de mesa o de interacción motriz, el objetivo de Connect Four es incentivar el uso de juegos de mesa y juegos reales, ofreciendo beneficios como: ejercitar la mente, incentivar las matemáticas, la memoria, reducir el estrés y la tensión. En el mundo las tecnologías móviles han aportado un gran avance en la actualidad, sin embargo, su uso excesivo y mal empleado ha generado que el desempeño de las personas sea afectado y pierdan sus capacidades motrices y mentales. El resultado del estudio de [1] identifica que los videojuegos y aplicativos ocasionan deterioro de capacidades auditivas, visuales y mentales de las personas.

La construcción de la solución se hizo en dos etapas: la primera cuyo objetivo era detectar el tablero de juego y las fichas, abarca desde la captura de la imagen hasta la extracción de características para identificar las posiciones de las fichas. La segunda cuyo objetivo era construir el árbol de búsqueda para seleccionar la mejor jugada, va desde la construcción del modelo icónico hasta la selección de la posición a jugar.

El aplicativo emplea extracción de características (figura geométrica círculo y colores) para construir el modelo icónico actual del tablero de cuatro en línea en el que se está jugando.

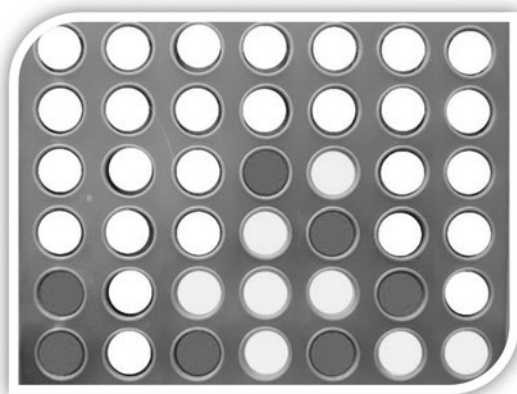
Posteriormente se aplica el algoritmo de Minimax para seleccionar la jugada. Se encuentra desarrollado en el lenguaje Java con la librería OpenCV, diseñado para sistema Android y emplea como sensor de entrada la cámara del *smartphone*.

Metodología

La cámara capta las imágenes del entorno, y las guarda en la memoria del *smartphone*. El primer paso consiste en verificar que estén los 42 círculos del tablero en el juego cuatro en línea. Si es el caso se delimita y elimina el fondo, se elimina el ruido, se pasa a escala de grises y se pasa a una función de OpenCV que evalúa los círculos que componen el tablero. Posteriormente, se extrae las posiciones de las fichas, evaluando los colores y se crea la matriz con las fichas identificadas. Luego se desarrolla la segunda fase del procesamiento cuyo objetivo es identificar el contenido del tablero de juego capturado y construir el modelo icónico que ingresa al algoritmo minimax de inteligencia artificial previamente diseñado para evaluar las posibles jugadas del juego actual.

El algoritmo de Minimax crea el árbol de búsqueda y verifica las posibilidades de perder o ganar. La evaluación del algoritmo toma la decisión de que jugada hacer para ganar o defenderse en el juego.

Fig. 1
Imagen del tablero cuatro en línea



En el desarrollo de este proyecto de investigación se utiliza la integración de dos grandes áreas: procesamiento de imágenes e inteligencia artificial, lo anterior permite sacar el mayor provecho de algunas de sus técnicas para el cumplimiento de los objetivos definidos.

Procesamiento de imágenes digitales

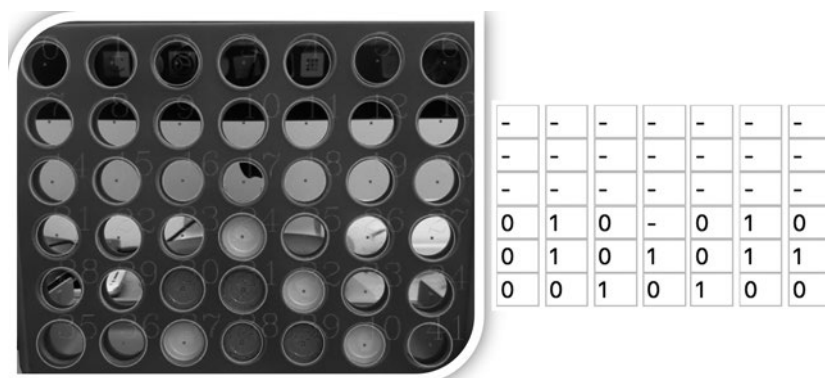
El procesamiento de imágenes y el reconocimiento de patrones están aplicadas a una gran variedad de campos, incluyendo medicina, educación, juegos, milicia, etc. [5].

Tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar [6], en el presente proyecto se utilizan estas técnicas para obtener las posiciones de las fichas y espacios vacíos, y construir a partir de ellas el modelo icónico del tablero del juego.

La librería OpenCv es utilizada para procesar imágenes digitales de una forma rápida ya que brinda herramientas y métodos para integrar sensores de los dispositivos [7], en el proyecto se desarrolló el aplicativo móvil con las librerías que ofrece OpenCv, bajo sistema operativo Android, para lograr el objetivo de tomar la información del modelo icónico.

Fig. 2

Matriz del tablero de juego, modelo icónico, 42 posiciones



El modelo icónico es una técnica de representación de información que permiten a los agentes sacar partido de información sobre su entorno que no puede ser percibida directamente [8].

Estos utilizan estructuras de datos y algoritmos para simular diferentes aspectos del entorno del agente y diferentes efectos de las acciones del agente sobre ese entorno. En este caso se empleó una matriz de 6 X 7 números enteros.

Algoritmo de búsqueda Minimax

Consiste en la elección del mejor movimiento para el computador. Para escoger la mejor opción este algoritmo realiza un árbol de búsqueda con todos los posibles movimientos, luego recorre todo el árbol de soluciones del juego a partir de un estado dado, según las casillas que ya han sido rellenadas. El algoritmo se ejecuta cada vez que le toca jugar al computador.

Para decidir qué jugada hacer, se define una función de evaluación, ésta cumple la misión de asignar un valor numérico a las posiciones analizadas en la decisión.

Comúnmente sólo son evaluadas con la función, las posiciones terminales del árbol dentro de la búsqueda [9].

La función de evaluación de este proyecto da un valor de 100 puntos al encontrar cuatro fichas del mismo color alineadas consecutivamente, debido a que es una posibilidad real de ganar; asigna un valor de 10 puntos a un juego en donde se tienen tres fichas consecutivas, y 2 puntos cuando hay dos fichas consecutivas. Siempre se compara el juego con el del rival para en caso de no lograr ganar, al menos empatar.

Resultados

Al realizar la recolección de imágenes y el posterior reconocimiento de éstas, se encontraron diferentes inconvenientes que dificultaron la detección del tablero del juego. Uno de los escenarios más frecuentes fue encontrar menos de 42 círculos dentro del tablero; por la presencia de zonas opacas, descoloridas, fondos que se confundían con el tablero y reflejos de luz que se interponían en la imagen. Para solucionar estas situaciones, en el primer prototipo, se trabaja con un entorno controlado y un fondo azul adherido al tablero.

En las primeras jugadas, el tablero tiene muy pocas fichas, lo que permite muchas opciones para jugar a los participantes, generando un árbol de búsqueda extenso que excede la memoria del dispositivo móvil. Adicionalmente, la construcción del árbol completo en profundidad crea un juego casi perfecto donde siempre gana el computador, lo cual desmotiva al usuario para seguir aplicándolo. Se optó por construir únicamente 4 niveles de profundidad para mantener el interés por parte de los jugadores y disminuir el consumo de memoria.

Para probar el funcionamiento del aplicativo, se realizaron pruebas con 45 imágenes tomadas en un área controlada, entre estas imágenes tenemos el tablero de juego a distancias entre 40cm y 60cm, desde diferentes ángulos, imágenes oscuras, con poca luminosidad, desenfocadas, con el reflejo del sol, con el reflejo de luces, entre otros, de todas estas pruebas se concluye que la calidad de la cámara es vital en este tipo de aplicativos, ya que esta influye en detalles que modifican la información capturada, como intensidad de colores y cercanía de los objetos.

Las imágenes capturadas a más de 40 cm de distancia, no son muy bien reconocidas, no se identifica la totalidad de los círculos del tablero porque están definidos a un tamaño aproximado y a mayor distancia, mayor diferencia.

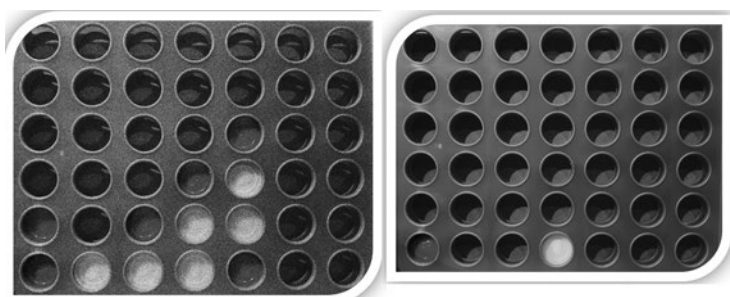
Para las imágenes tomadas desde diferentes ángulos y las capturas desenfocadas o no niveladas, se presentaron inconvenientes por la presencia de formas que presentan conflictos al no ser reconocidas.

En imágenes muy oscuras, los colores presentan discontinuidad, el sistema falló en la etapa de identificación, en la cual se pierden los bordes de los círculos y no es posible encontrar la totalidad del tablero para que se pueda identificar como una posible jugada inicial.

En imágenes con reflejo de luces o reflejo del sol, se distorsionan los círculos del tablero, impidiendo que se inicie el modelo icónico en el aplicativo para su posterior análisis.

Fig. 3

Imagen con ruido y con reflejo de luces



Analizando los resultados de las pruebas, se concluye que la identificación es la etapa de más impacto en el procesamiento de imágenes para este proyecto, por lo tanto, fue necesario para reducir el margen de error del reconocimiento, optimizar los métodos de identificación, de forma que se ajustaron las imágenes capturadas con filtros para poder reconocer los círculos. Las técnicas finales empleadas fueron: eliminación del ruido, transformación a escala de grises, aplicación librería openCv para detectar figuras geométricas, extracción de características para el modelo icónico.

Después de realizar estos cambios se obtuvo un aumento en la efectividad del reconocimiento de aproximadamente un 31 %, pasando de reconocer 18 de 45 imágenes capturadas (40 %), a reconocer 32 de 45 (71 %).

Conclusiones

Para utilizar técnicas de reconocimiento de imágenes dentro de un Smartphone con sistema operativo Android y todos sus componentes equipados (cámara, procesador, memoria) es clave la optimización del algoritmo para obtener

tiempos de respuesta razonables y poder realizar todo el proceso dentro del dispositivo. La calidad de la imagen capturada es fundamental para reducir el tiempo del análisis.

Durante el desarrollo del ciclo de vida del proyecto se pudo evidenciar las múltiples aplicaciones que tienen estas áreas de la tecnología, la cual es una invitación a la creatividad e innovación de nuevos grupos de trabajos compuestos por personas con un alto índice de curiosidad.

La posibilidad de integrar lo académico con aplicaciones del mundo real es algo de suma importancia en el crecimiento profesional de los autores, llevar lo aprendido a una oportunidad de investigación, innovación y posible negocio.

Referencias

- [1] Riveros, A., Guevara, A., & Guzmán, L.: Formación de robots móviles mediante el uso de controladores. *Ingenierías USBmed*, 4(2), 62 (2013).
- [2] Bellinson, J.: *Children's Use of Board Games in Psychotherapy*. Jason Aronson (2002).
- [3] Hinebaugh, J.: *Board Game Education*. R&L Education (2009).
- [4] Begy, J.: *Board Games and the Construction of Cultural Memory*. Games and Culture (2015).
- [5] Leondes, C.: *Image Processing and Pattern Recognition*. Elsevier (1998).
- [6] Jayaraman: *Digital Image Processing*. Tata McGraw-Hill Education (2011).
- [7] Kagami, S.: Utilizing OpenCV for High-Speed Vision Processing. *Adv. Robot.*, 31(3), 244–248 (2013).
- [8] Nilsson, N.: *Inteligencia artificial: una nueva síntesis*. McGraw-Hill, España (2001).
- [9] do Rosário, M., & Tersian, S.: *An Introduction to Minimax Theorems and Their Applications to Differential Equations*. Springer Science & Business Media (2001).

(SUBMISSION 79)

Anotación y búsqueda semántica de documentos científicos en ambientes de Big Data

NELSON ALEJANDRO PORTILLA HERRERA

OSWALDO SOLARTE PABÓN

FEDERICO LÓPEZ GÓMEZ

VICTOR ANDRÉS BUCHELI GUERRERO

*Universidad del Valle**Cali, Colombia*

Resumen

La anotación semántica de documentos es una técnica ampliamente utilizada en procesos de recuperación de información. Anotar semánticamente grandes conjuntos de documentos científicos podría facilitar la búsqueda haciendo uso de los conceptos contenidos en ellos. Considerando la creciente disponibilidad de documentos científicos en la Web es necesario contar con mecanismos que permitan la anotación de grandes volúmenes de documentos que crecen de forma acelerada. En este póster se propone una arquitectura de Software escalable para dar soporte al proceso de anotación semántica y se describe un prototipo que implementa la arquitectura propuesta.

Palabras clave: Big Data, recuperación de información, web semántica, Hadoop, Spark, ElasticSearch, escalabilidad.

Introducción

La anotación semántica es una técnica utilizada de forma amplia en procesos de extracción y recuperación de información [1]. Esta consiste en relacionar con-

ceptos bien definidos en vocabularios controlados (e.g. taxonomías, ontologías) o bases de conocimiento (e.g. Bioportal, DBPedia) con regiones de interés en algún recurso (e.g. imágenes, texto, audio). En el caso de los documentos científicos la anotación semántica facilita la búsqueda y extracción de información haciendo uso de los conceptos contenidos en ellos [2].

La creciente disponibilidad de documentos científicos en la web dificulta el análisis y procesamiento de la información, dado que las aplicaciones de procesamiento de tradicionales soportadas en bases de datos relacionales o sistemas transaccionales no están diseñadas para el procesamiento de grandes volúmenes de datos [3]. El proceso de anotación semántica de documentos no es ajeno a estas dificultades, dado que es necesario gestionar una gran cantidad de información no estructurada. Conjuntos de datos como Biotea³, son cada vez más difíciles de generar y actualizar dada la velocidad con la que se generan nuevos documentos científicos. Biotea provee anotaciones semánticas para los artículos disponibles en PubMed Central. Este conjunto de datos generado en el año 2013 consta de 270.834 artículos científicos anotados, para el año 2017, Pubmed Central ha crecido de forma acelerada brindando acceso a más de 1.5 millones de artículos científicos, dificultando la regeneración y actualización del conjunto de datos.

Una solución a este problema es el uso de mecanismos de procesamiento y almacenamiento de datos distribuidos y escalables [4].

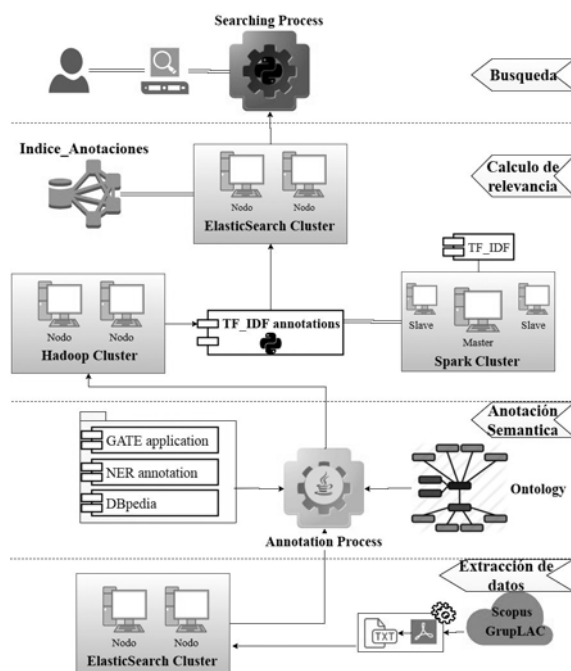
En este póster se propone una arquitectura y describe un prototipo escalable de software para el enriquecimiento semántico de documentos científicos, el cual se basa en el uso de tecnologías de Big Data como Hadoop, Spark y ElasticSearch. Lo anterior, con el fin de facilitar la anotación semántica de grandes volúmenes de documentos científicos con múltiples ontologías de dominio, bases de conocimientos y categorías NER.

Arquitectura escalable para anotar y consultar documentos científicos

La Fig. 1, muestra un diagrama general de la arquitectura propuesta. Esta arquitectura tiene cuatro capas: La primera, es la capa de obtención de documentos científicos los cuales se extraen de fuentes como Scopus, GrupLac y Google Scholar. Estos documentos se transforman a texto plano para luego ser indexados haciendo uso de un clúster de ElasticSearch. La segunda capa se encarga de anotar semánticamente los documentos científicos. Esta capa está compuesta por un anotador semántico basado en ontologías, un anotador para

el Reconocimiento de Entidades Nombradas (NER) y un anotador basado en conceptos obtenidos de DBpedia. La tercera capa se encarga de analizar y almacenar las anotaciones obtenidas en la capa anterior, este análisis consiste en el cálculo de la relevancia de las anotaciones. Finalmente, la cuarta capa ofrece al usuario la posibilidad de buscar y recuperar documentos científicos usando las anotaciones semánticas por medio de un servicio web. La arquitectura propuesta está diseñada con el fin de gestionar grandes volúmenes de documentos en ambientes de Big Data. Para lograr esto se integran plataformas escalables de procesamiento y almacenamiento distribuido de información como Hadoop, Spark y ElasticSearch.

Fig. 1
Arquitectura general de anotación semántica en un entorno distribuido



Hadoop se usa para almacenar de manera distribuida las anotaciones en un clúster de procesamiento. La información de cada documento se envía al gestor de archivos de Hadoop (HDFS) para que éste se encargue de dividir la información a través de los nodos. Spark se usa en las etapas de procesamiento intensivo de datos en memoria, tales como el preprocesamiento e indexación de documentos y el cálculo de la relevancia de las anotaciones. Para el preprocesamiento e indexación, Spark divide y distribuye la carga de documentos y los

transforma a texto plano para su posterior indexación haciendo uso del poder de procesamiento de todos los nodos del clúster. En el cálculo de la relevancia se hace uso de Dataframes (tablas distribuidas), una estructura de datos nativa de Spark con la cual se construye el modelo para las anotaciones de todos los documentos y se calcula su relevancia. Éste es un proceso distribuido que utiliza el enfoque MapReduce y las tareas se dividen a través de un clúster de Spark conformado por tres nodos (un máster y dos nodos esclavos). ElasticSearch se usa para indexar los documentos y las anotaciones semánticas. Cuando un usuario lanza una consulta se utiliza el clúster de ElasticSearch para procesar la consulta. La integración de estas herramientas permite abordar el problema del procesamiento y almacenamiento de documentos científicos bajo ambientes de Big Data.

Conclusiones y trabajo futuro

En este póster se presenta una arquitectura escalable para la anotación y búsqueda semántica de documentos científicos, la cual se basa en el uso de tecnologías como Apache Hadoop, Spark y ElasticSearch. Con la arquitectura propuesta, se facilita el preprocesamiento, anotación, almacenamiento y recuperación de grandes cantidades de documentos científicos en un entorno de Big Data.

El prototipo descrito presenta una aproximación al problema de la anotación semántica de grandes conjuntos de documentos, procurando mejorar el rendimiento y la escalabilidad del preprocesamiento de datos, el almacenamiento de los documentos, sus anotaciones semánticas y la posterior recuperación de los documentos. En cuanto al preprocesamiento de datos, la distribución de la conversión a texto plano y la indexación de documentos se utilizó una aproximación basada en Spark.

Como trabajo futuro se planea configurar un entorno de pruebas que involucren el uso de múltiples ontologías, el procesamiento de volúmenes más grandes de documentos científicos y la evaluación de algunas métricas como precisión y recall usando esta arquitectura.

Referencias

- [1] Wei, W., Barnaghi, P.M., Bargiela, A.: Semantic-Enhanced Information Search and Retrieval. In: Sixth International Conference on Advanced Language Processing and Web Information Technology (ALPIT 2007). pp. 218–223 (2007)

- [2] Maynard, D.: Benchmarking ontology-based annotation tools for the Semantic Web. *Science* (80). 15, 96–97 (2008)
- [3] Madden, S.: From Databases to Big Data. *IEEE Internet Comput.* 16, 4–6 (2012). doi:10.1109/MIC.2012.50
- [4] Hashem, I.A.T., Yaqoob, I., Anuar, N.B., Mokhtar, S., Gani, A., Ullah Khan, S.: The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. *Inf. Syst.* 47, 98–115 (2015). doi:10.1016/j.is.2014.07.006

(SUBMISSION 126)

Lineamientos para un acercamiento a la implementación de DevOps para mipymes en Colombia

PABLO BEJARANO

ANDRÉS HEREDIA

HUGO ORDÓÑEZ

*Maestría en Ingeniería de Software,
Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de Software LIDIS
Universidad de San Buenaventura Cali
Cali, Colombia*

Resumen

El framework conceptual DevOps, que abarca tanto a la cultura organizacional como a las prácticas tecnológicas para mejores procesos de desarrollo de software, representa una gran oportunidad a tener en cuenta, esta investigación plantea un acercamiento a los lineamientos para la implementación de DevOps en el contexto de las MIPYMEs colombianas desarrolladoras de software, abordando el tema desde la definición hasta la identificación de los lineamientos necesarios.

Palabras clave: DevOps, Mipyme, cultura organizacional, integración continua, despliegue continuo, Colombia.

Introducción

El desarrollo tradicional de software dentro de las empresas se presenta como una distribución de esfuerzos descentralizados entre las distintas partes que trabajan en ella, siguiendo cada una objetivos específicos que finalmente deberían aportar a un objetivo general común; puntualmente en empresas dentro del

sector del desarrollo de software los equipos suelen agruparse en dos grandes áreas (desarrollo y operaciones), trabajando de manera independiente y algunas veces hasta convirtiéndose en rivales internos, y aun así la industria del software se ha mantenido a flote con dicha estrategia, al menos hasta ahora, pues la capacidad de producción comienza a flaquear al momento de enfrentar las nuevas demandas de un mercado exigente que requiere cambios constantes de manera ágil, conservando claro está la calidad del producto [1].

Si bien han surgido aproximaciones para dar una solución a esta problemática, tales como, el agilísimo en el desarrollo de software, la integración continua, las herramientas de automatización, entre otras prácticas para el mejoramiento de los procesos de producción de software [1][2][3][4]; la adopción de estas estrategias en las organizaciones suele presentarse de manera aislada y no logra el objetivo por el cual se realizó su implementación dentro de la empresa [5]; esto debido a la descentralización de las prioridades principales de cada uno de los equipos involucrados. Un ejemplo de ello se puede evidenciar cuando la empresa determina implementar agilísimo únicamente con los miembros del equipo de desarrollo, obteniendo como resultado la generación de releases de manera más periódica, pero limitando el despliegue de los mismos a la capacidad de trabajo del equipo de operaciones, quienes, enfocados en asegurar la estabilidad del entorno de producción, se ven obligados a frenar el despliegue. Partiendo entonces de la situación planteada anteriormente, la abundancia de métodos y herramientas, y la dificultad en el éxito del uso de las mismas dentro de las empresas, surge el concepto de DevOps, que en estudios reporta mejoras en rendimiento y calidad de software tales como: 200x en frecuencia de despliegues, 24x menos tiempo en recuperación de fallas, 3x en reducción de fallas originadas por cambios, entre otros [6][7][8].

Aspectos de DevOps

DevOps podría dividirse en aspectos claves como (1) la cultura: planteando una cultura colaborativa centrada en la comunicación inspirada en el agilísimo, que unifique las filosofías de cada equipo y las enfoque en el trabajo en búsqueda de un fin común, (2) la automatización: planteando un enfoque a la automatización de todos los procesos posibles para permitirse la agilidad que plantea, delegando menos tiempo de los equipos en procesos que no lo requieran, (3) la medición: que en DevOps se realiza mediante la medición del esfuerzo implicado en el proceso de desarrollo de software basado en datos tomados en tiempo real, generando estimaciones de esfuerzo que reflejan una aproximación real, entregando una medición más efectiva, y (4) la colaboración: que replantea la manera en que los equipos trabajan y más importante aún, se comunican entre ellos; la comunicación efectiva y el conocimiento de los procesos mutuos incentiva la agilidad y los buenos resultados en la obtención de las metas establecidas [9]; algunos

autores adicionan a la lista el (5) monitoreo: que implica la constante revisión de los procesos de desarrollo y el sistema como tal (tarea que en el desarrollo tradicional se delega a las operaciones), permitiendo obtención automática de datos de rendimiento y desempeño de los sistemas desarrollados [2]. [9] plantea que la adopción de DevOps además implica (1) remover la frontera entre equipos de desarrollo y operaciones asignando responsabilidades distribuidas a los ingenieros que pertenecen a los mismos, (2) reforzar la comunicación entre los equipos y unificar los protocolos para que la integración sea más sinérgica, claro está, sin necesidad de desaparecer la diferenciación de los roles de cada miembro, y (3) propone la creación de un equipo que se encargue de conectar los dos equipos como una especie de equipo de control de DevOps.

DevOps y la cultura organizacional

El éxito en la adopción de DevOps en una organización depende en gran medida de la cultura organizacional [10][11]. Existen rasgos característicos necesarios para la adopción de DevOps en la organización, como (1) metas y objetivos compartidos, (2) la necesidad de colaboración, (3) la innovación, (4) la experimentación como fuente de aprendizaje (a partir de sus éxitos y fallas), (5) un entorno en el que los miembros se sientan parte de un gran equipo que les brinde soporte y apoyo ante las diferentes situaciones y (6) una comunicación transparente y basada en la empatía. Otros son valores de la cultura genéricos a cualquier organización pero que deben existir entre los miembros del equipo tales como: confianza, respeto y responsabilidad compartida [10].

DevOps y la tecnología e infraestructura

El modelo de DevOps plantea aprovechar las bondades de los servicios en la nube, tales como: (1) la infraestructura como servicio (IaaS), (2) la plataforma como servicio (PaaS) y (3) el software como servicios (SaaS) para permitirse la elasticidad que la agilidad intrínseca que el mismo requiere [1], lo que implica a su vez dejar a un lado el temor a las nuevas tecnologías y entender que es necesaria una transición como plantea [12]. Una vez implementado lo planteado anteriormente se introduce el concepto de microservicios, que permitirán una verdadera definición arquitectural que soporte tecnológicamente DevOps [11][13].

Acercamiento de las mipymes colombianas a DevOps

Para este trabajo de investigación, posterior a un mapeo sistemático de DevOps, se partió de una revisión del estado de la industria del software a nivel inter-

nacional y se aterrizó hasta la industria del software en Colombia, en donde se evidencia (1) que al menos el 80 % del sector TI es considerado una MIPYME, de las cuales al menos el 50 % ofrece productos y/o servicios de desarrollo de software, QA, IaaS y Cloud Computing [14], (2) que las exportaciones del país han disminuido mientras que la importación de software dobla el resultado de producto exportado según [15][16], resultados directamente asociados a la falta de inversión en I+D+I, los niveles de productividad y la calidad de los productos de software, lo cual ubica el producto de software colombiano como no competitivo en el mercado según [14] y [17], que además afirma que la inversión en capacidades de innovación tecnológica impactaría las ventas de las empresas colombianas en un incremento de al menos 20 y 30 %. Entre la lista de las debilidades de la industria del software colombiana propuesta por [18] en su estudio del crecimiento de la industria del software en Colombia, se destacan (1) los productos de baja calidad, (2) los bajos niveles de innovación, (3) la falta de organización empresarial; de estos se resalta el aspecto de la calidad en productos de software que según [7] se reporta en un 64 % de incidentes en fallas del producto y por esta razón se optó por orientar esta investigación al diseño de una estrategia DevOps para el aporte a la calidad de productos de software en Mipymes colombianas; el cual será medido a través del uso de métricas basadas en calidad de pruebas de software tales como: Deployment Success Rate y Application Error Rate.

Lineamientos para el acercamiento a la implementación de DevOps

Las actividades identificadas entonces según los resultados encontrados en la investigación indican que se debe (1) identificar prácticas culturales, e (2) identificar prácticas tecnológicas de la empresa para hacer un diagnóstico del estado actual de la misma en ambas prácticas, para posteriormente (3) Definir una estrategia de implementación de DevOps con base a las prácticas culturales y tecnológicas identificadas. Para esto se propone aplicar el “Test de diagnóstico para la transición a DevOps” desarrollado por el equipo de la presente investigación, basado en una adaptación de múltiples test de innovación y prácticas empresariales[19][20][21], con el objetivo de reconocer e identificar las brechas de las prácticas culturales y tecnológicas actuales con respecto a DevOps.

Como primer lineamiento para las empresas que quieren implementar DevOps, las mismas deben definir los objetivos por los cuales buscan dicha implementación, pues estos definen la base para el planteamiento de la estrategia. Como lineamientos en prácticas culturales de la organización se requiere (1) la definición de metas y objetivos compartidos por los integrantes de la empresa,

(2) establecer la cultura de la colaboración con políticas organizacionales, (3) definir estrategias y políticas que fomenten la innovación, (4) procurar un entorno de trabajo colaborativo y de camaradería, (5) revisar el estado de la comunicación y los medios de comunicación dentro de la empresa eliminando procesos innecesarios (identificados en el proceso del diagnóstico) y (6) definir mecanismos y procesos de ciclos iterativos de la mejora continua para cada uno de los miembros de la empresa, sus productos y procesos. Como lineamientos en prácticas tecnológicas para permitirse adoptar DevOps, la estrategia tecnológica de la empresa debe alinearse con (1) la automatización de procesos, como fue discutido previamente en éste documento, (2) infraestructura elástica altamente escalable, para lo cual autores como [11][22][23][24] proponen el uso de tecnologías en la nube, servidores virtuales y contenedores, reduciendo tiempo en procesos partiendo de la premisa de que lo que ya está hecho no hace falta volver a ser realizado; y (3) una bien definida línea base de la configuración tanto de código como infraestructura [10]. De lo anterior que las empresas podrían ajustar las necesidades tecnológicas y de infraestructura a los valores financieros que puedan permitirse (pues se dispone de muchas herramientas de bajo presupuesto como se evidencia en [11][23]) y adoptar exitosamente (desde el área tecnológica y de infraestructura) siempre que su estrategia esté bien definida y se vele por garantizar los siguientes aspectos: (1) la gestión de la configuración, (2) la gestión de la calidad en tiempo real y con mediciones aterrizadas por la retroalimentación como plantean [4] y [25], y (3) la automatización de la infraestructura.

Conclusiones

Para poder llevar a cabo la implementación adecuada de DevOps en cualquier empresa, primero es necesario entenderlo como un Framework conceptual compuesto por prácticas de desarrollo de software y culturales, afectadas por factores facilitadores y bloqueadores, alejando a DevOps del mito de ser una fórmula de oro para cualquier contexto esperando los mismos resultados sorprendentes.

Se identificaron seis (6) lineamientos culturales y tres (3) lineamientos en prácticas tecnológicas para un acercamiento a la implementación de DevOps.

Trabajo a futuro

Se propone el diseño de una estrategia para la implementación de DevOps en el contexto de las Mipymes colombianas basado en los lineamientos identificados en esta investigación.

Referencias

- [1] C. A. Cois, J. Yankel, and A. Connell, “Modern DevOps: Optimizing software development through effective system interactions,” 2014 IEEE International Professional Communication Conference (IPCC), Oct. 2014.
- [2] L. E. Lwakatare, P. Kuvaja, and M. Oivo, “Dimensions of DevOps,” in *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming*. Springer Science + Business Media, 2015, pp. 212–217.
- [3] N. Kerzazi and B. Adams, “Who needs release and devops engineers, and why?” *Proceedings of the International Workshop on Continuous Software Evolution and Delivery - CSED '16*, 2016.
- [4] M. Virmani, “Understanding DevOps & bridging the gap from continuous integration to continuous delivery,” *Fifth International Conference on the Innovative Computing Technology (INTECH 2015)*, May 2015.
- [5] A. Wahaballa, O. Wahballa, M. Abdellatif, H. Xiong, and Z. Qin, “Toward unified DevOps model,” 2015 6th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS), Sep. 2015.
- [6] Puppet (2016). 2016 state of DevOps report [Online]. Available: <https://puppet.com/resources/white-paper/2016-state-of-devops-report>. Accessed: Sep. 12, 2016.
- [7] M. Callanan and A. Spillane, “DevOps: Making it easy to do the right thing,” *IEEE Software*, vol. 33, no. 3, pp. 53–59, May 2016.
- [8] Sonatype, “DEVSECOPS COMMUNITY SURVEY 2017”, 2017.
- [9] K. Nybom, J. Smeds, and I. Porres, “On the impact of mixing responsibilities between Devs and Ops,” in *Agile Processes, in Software Engineering, and Extreme Programming*. Springer Nature, 2016, pp. 131–143.
- [10] J. Smeds, K. Nybom, and I. Porres, “DevOps: A definition and perceived adoption impediments,” *Agile Processes, in Software Engineering, and Extreme Programming*, pp. 166–177, 2015.
- [11] C. Ebert, G. Gallardo, J. Hernantes, and N. Serrano, “DevOps,” *IEEE Software*, vol. 33, no. 3, pp. 94–100, May 2016.
- [12] E. Woods, “Operational: The forgotten architectural view,” *IEEE Software*, vol. 33, no. 3, pp. 20–23, May 2016.
- [13] L. Zhu, L. Bass, and G. Champlin-Scharff, “DevOps and its practices,” *IEEE Software*, vol. 33, no. 3, pp. 32–34, May 2016.

- [14] Federación Colombiana de la Industria de Software, „Informe de caracterización del sector de software y tecnologías de la información en Colombia“, 2015.
- [15] Federación Colombiana de la Industria de Software. “Descripción del sector del software. Technical report”, 2008.
- [16] Proexport Colombia. “Industria de tecnologías de información. Technical report”, 2008.
- [17] S. Martínez Marín, „Evaluación de Estrategias de Crecimiento en la Industria del Software en Colombia con Dinámica de Sistemas“, Maestría en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [18] S. Martínez Marín, “El crecimiento de la industria del software en Colombia: un análisis sistémico”, Escuela de Ingeniería Antioquia, EIA Vol. 12 Ed. 23, pp.95-106, Envigado, Colombia, 2015.
- [19] Ayuntamiento de Barcelona. Test Innova”. [Online]. Available: http://www.bcn.cat/movies/innova/test_innova/index-es.html. Accessed: May. 1, 2017.
- [20] Centro de Innovación Pública Digital. Infografía: cultura de innovación [Online]. Available: Vive Digital, <http://centrodeinnovacion.gobiernoenlinea.gov.co/es/caja-herramientas/infografia-cultura-de-innovacion>
- [21] Puppet. DevOps Assessment, [Online]. Available: <https://puppet.com/devops-assessment>.
- [22] H. B. Christensen, “Teaching DevOps and cloud computing using a cognitive apprenticeship and story-telling approach,” Proceedings of the 2016 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education - ITiCSE '16, 2016.
- [23] J. Wettinger, U. Breitenbücher, O. Kopp, and F. Leymann, “Streamlining DevOps automation for cloud applications using TOSCA as standardized metamodel,” Future Generation Computer Systems, vol. 56, pp. 317–332, Mar. 2016.
- [24] J. Wettinger, V. Andrikopoulos, and F. Leymann, “Automated capturing and systematic usage of DevOps knowledge for cloud applications,” 2015 IEEE International Conference on Cloud Engineering, Mar. 2015.
- [25] Z. Babar, A. Lapouchnian, and E. Yu, „Modeling DevOps deployment choices using process architecture design dimensions,“ in Lecture Notes in Business Information Processing. Springer Science + Business Media, 2015, pp. 322–337.

(SUBMISSION 59)

Método para el diseño de la estructura de contenidos en MOOC basado en la inteligencia colectiva

CARLOS CASTRO

HUGO ORDÓÑEZ

*Research Laboratory in Development of Software Engineerin**Universidad San Buenaventura**Cali, Colombia*

ARMANDO ORDÓÑEZ

*Intelligent Management System, Fundación Universitaria de Popayán**Popayán, Colombia*

MARIO SOLARTE

*Departamento de Telemática, Universidad del Cauca**Popayán, Colombia*

Resumen

Los MOOC (Massive Open Online Courses) ofrecen una amplia difusión de los contenidos educativos con acceso libre y global. Sin embargo, los contenidos son definidos por un grupo limitado de expertos pertenecientes generalmente a una sola organización. Este artículo presenta un método de construcción colectiva del contenido de MOOC. Este método integra una serie de expertos que, a través de una visión consensuada en una estrategia de inteligencia colectiva, definen los contenidos temáticos del MOOC, para tener un contexto más globalizado y universal. El método es aplicado a un MOOC de programación y es evaluado con 290 estudiantes del curso.

Palabras clave: MOOC, inteligencia colectiva, visión consensuada.

Introducción

Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) han potenciado la transformación de la educación, en especial la educación superior. En este contexto, las instituciones de educación superior son responsables de construir y difundir el conocimiento en todos los ámbitos de la sociedad, para lo cual, las TIC se convierten en un aliado valioso en una sociedad altamente informatizada [1].

Lo anterior ha generado un nuevo modelo de enseñanza superior basado en MOOC (Massive Open Online Courses), los cuales, por su naturaleza de acceso libre e indiscriminado permiten la apropiación de conocimiento a través de la práctica en escenarios y contextos concretos. Los MOOC incluyen teorías, diseño instruccional, prácticas de enseñanza y aprendizaje; y estrategias de evaluación formativa y sumativa. En este sentido, se han generado un conjunto de estrategias docentes, prácticas pedagógicas que permiten converger las diferentes formas del conocimiento con las distintas maneras de aprender y de integrar conocimientos de los estudiantes [2].

Los MOOC han sido desarrollados con éxito desde 2008 con una concepción conectivista, en la cual la construcción del conocimiento se basa en el establecimiento de conexiones, y cuanto mayor sea el número de nodos, más posibilidades de aprendizaje hay en un curso determinado. Estos entornos de aprendizaje abiertos han supuesto la posibilidad de que miles de personas de todo el mundo puedan seguir diferentes iniciativas educativas de manera accesible y gratuita [3].

En su mayoría los MOOC son creados y ofrecidos por universidades, por ende, la calidad del contenido está asociado con la calidad del curso ofertado por una universidad. Precisamente, el contenido del MOOC está desarrollado por dichos expertos [4].

A pesar de que la organización de los contenidos es realizada por algunos expertos, el contenido de los MOOC no siempre responde a las necesidades globales de los estudiantes que acceden a ellos, ya que el contenido no tiene en cuenta los intereses personalizados de los diferentes estudiantes quienes pueden provenir de diversas regiones o países, con variados contextos [5], entendiendo por contexto el conjunto de circunstancias que motivan la inscripción de una persona en un MOOC.

Con base a lo anterior, en este artículo se propone un método de definición de contenidos de MOOC basado en inteligencia colectiva [6], donde un grupo de expertos en una determinada temática y pertenecientes a diferentes países,

pueden de manera consensuada inferir y recomendar las temáticas que se deben incluir en el contenido de un MOOC, con el propósito de que cubra de mayor manera temáticas de interés a nivel contextual en un ambiente internacional [1].

En este trabajo, la inteligencia colectiva se concibe como inteligencia universal, que se distribuye, donde surge la colaboración por el concurso de muchos para realizar la tarea de definición de los contenidos a abordar en un MOOC. Por lo tanto, la inteligencia colectiva, de actitud causa-efecto, puede ser asociada a la comunicación de muchas personas parcialmente independientes que adquieren información y esta puede ser combinada y procesada a través de su interacción social proporcionando información a un problema cognitivo de forma que su implementación no puede ser llevada a cabo por individuos aislados.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección dos se describen algunos de los trabajos relacionados más relevantes, en la sección tres se presenta el método propuesto, en la sección cuatro la evaluación y sus resultados y finalmente en la sección cinco las conclusiones y los trabajos futuros.

Trabajos relacionados

La docencia universitaria fundamenta metodologías de participación interactiva, para la difusión docente, usando nuevas estrategias tecnológicas que den soporte a las nuevas exigencias y mejoras en modelos educativos. El uso de los MOOC, permite potenciar un escenario sistémico educativo que integra procesos de enseñanza propositivos para un desarrollo práctico e integración de grupos de comunicación, fortaleciendo el intercambio de experiencias, propios en lo educativo, cultural, social y global, en este sentido, a continuación se describen algunos de los trabajos más representativos en esta temática.

Trabajos como [2], reconocen que la puesta en marcha exitosa de iniciativas MOOC requieren de un fuerte apoyo institucional y exige estructuras de apoyo tanto técnico como pedagógico, así como contar con recursos audiovisuales y multimedia suficientes para el diseño, desarrollo y ejecución de los cursos. La mayoría de autores abordan el tema desde el punto de vista metodológico sin llegar a proponer modelos que aprovechen el potencial de la construcción colaborativa e inteligente de contenidos [2][3].

Una corriente de investigadores proponen esquemas de producción de MOOC ajustados a modelos de negocio viables y sostenibles necesarios para conciliar los propósitos institucionales buscados con la extensión en el tiempo para la puesta a disposición de nuevos cursos [4] y mejorar los ya creados, pero dichos esquemas no cuentan con herramientas de apoyo que implementen y den so-

porte a sus lineamientos; además, ignoran la pluralidad de perfiles y de interés que pueda tener una persona cuando se inscribe en un MOOC.

De otra parte, Hollands y Tirthali (2014) identificaron seis objetivos principales que motivan en las instituciones la puesta en marcha de iniciativas de desarrollo de MOOC: ampliar el acceso al conocimiento; afianzar la marca; mejorar la productividad aumentando los ingresos o reduciendo costos; mejorar los resultados educativos; producir innovación en las actividades de enseñanza y aprendizaje; y la realización de investigaciones sobre nuevos modelos educativos [5], lo anterior sólo se puede conseguir aplicando criterios de eficiencia y eficacia en las estrategias de trabajo MOOC. La propuesta consignada en este artículo, contribuye decididamente a alcanzar los objetivos 3, 4, 5 y 6 identificados por Hollands y Tirthali.

Finalmente, las propuestas de aseguramiento de la calidad en *e-learning* han alcanzado el movimiento MOOC en dimensiones relacionadas con el diseño de recursos didácticos y que abarcan aspectos como la arquitectura y calidad de los contenidos y las actividades de aprendizaje [6], señalando la necesidad de contar con modelos y herramientas innovadoras que permitan la construcción colaborativa de contenidos en ambientes de diversidad.

Método propuesto

El método propuesto se fundamenta en el hecho de que un curso MOOC debe tener la consistencia y los objetivos necesarios para constituir un programa de aprendizaje de una asignatura, basado en contenidos adecuadamente estructurados, siguiendo técnicas de diseño instruccional consolidadas como la Teoría de la Elaboración [5][7]. En este sentido, el presente artículo define un método de gestión de contenido de MOOC basado en inteligencia colectiva, el cual busca que los contenidos temáticos de un curso masivo sean universales y consensuados por una serie de expertos en la temática abordada en el mismo, a diferencia de los métodos tradicionales donde un grupo reducido de personas decide desde su experticia que contenidos deben ser incluidos en la temática que se abordara en el MOOC. Los elementos que componen el método se describen a continuación.

Diagnóstico de la temática referenciada en un MOOC

En este paso se identifican las universidades más representativas y los programas académicos en los que se ofrecen asignaturas relacionadas con el MOOC a gestionar. Las universidades son identificadas en la ciudad, región, e incluso en algunos países. De cada una de las universidades se obtienen los micro-curriculum

(contenidos programáticos de las asignaturas). La información recolectada es sistematizada para identificar algunas similitudes en el manejo de los contenidos. Adicionalmente, para darle soporte al análisis de la información sistematizada y las similitudes en los micro-curriculum, esta se coteja con los contenidos mínimos que se deben orientar en una asignatura según los entes que regulan la formación en cada profesión, por ejemplo, en informática o ciencias de la computación la información sistematizada es comparada con los lineamientos de *ACM computing curricula*, *IEEE Curricula*, *IEEE Computer Society* y *Society of Software Engineering*. Una vez la información es cotejada se organiza para ser analizada por expertos en la temática a nivel internacional.

Visión de expertos (docentes) internacionales

En este paso se colecta la información de las apreciaciones de los expertos, el instrumento usado para recolectar la información permite identificar los puntos de vista en común en relación a la temática que debe ser ofrecida en un MOOC. El instrumento se enfatiza en integrar un modelo global en contenido temático para realización los temas a tratar en el curso. Para esto, se presenta la lista de cada uno de los contenidos, sus unidades y descripción de la temática. Cada uno de los expertos analiza contenido por contenido en relación a la unidad de la temática donde se orientará y da su apreciación, Si el experto está de acuerdo da el visto bueno de cada contenido, si el experto no está de acuerdo hace sugerencias del que contenido temático debe orientarse en cada unidad, para que con base a esto se arme un consenso desde el punto de vista de los expertos que revisan la temática.

Analizar la información recolectada e identificar posibles consensos

En este paso, se analiza la información generada por parte de los expertos, con el fin de identificar concesos en los contenidos; para esto, se establece una frecuencia mínima de las observaciones emitidas por el conjunto de expertos y se define si el contenido es integrado o no al MOOC, como por ejemplo el 70 % de consenso entre los expertos en cada contenido temático.

Organización de los contenidos basada en una visión consensuada general de los expertos

Organizar los contenidos temáticos con base al nivel de frecuencia mínima obtenido en el consenso de los expertos, este se organiza secuencialmente unidad por unidad, adicionalmente, se usa las recomendaciones de la *ACM computing curricula*, *IEEE Curricula*, *IEEE Computer Society* y *Society of Software Engineers*, para identificar si los contenidos sugeridos en consenso por los expertos

están dentro de las directrices de estas asociaciones internacionales, con esto se define la forma en cómo deben ser abordados y organizados dentro del MOOC.

Reevaluar los contenidos del MOOC con expertos antes de montar a la plataforma

Una vez los contenidos son organizados con base en el consenso, estos son presentados a los expertos nuevamente con el fin de identificar la coherencia en la organización de estos, según su visión general del contenido. Adicionalmente, los contenidos son jerarquizados de forma paralela desde un marco teórico de agrupación de los ejes temáticos estándares de los cursos universitarios, en un modelo de taxonomía de dominios del aprendizaje, conocido como Taxonomía de Bloom, en la cual se enfatiza en la capacidad de comprender o aprender; en donde el estudiante sabe qué se le está comunicando y hace uso de los materiales o ideas que se le presentan, sin tener que relacionarlos con otros materiales o percibir la totalidad de sus implicaciones

Estudio de caso para evaluación del método propuesto

El método propuesto toma como caso de estudio un MOOC creado en la Universidad de San Buenaventura Cali – Colombia, principios y fundamentos de programación en programas de Ingeniería Informática, contó con 800 personas inscritas. Su caso de estudio se dividió en dos fases.

Aplicación del método

- *Diagnóstico de la temática referenciada en un MOOC.* Para este paso se identificaron 100 universidades que ofertan el programa de ingeniería informática, de sistemas o afines a nivel de Suramérica, entre los países están Brasil, Chile, Argentina, Colombia, Perú, Ecuador y México entre otros. Se recolectaron los micro-curriculos, se ordenan jerárquicamente temáticas comunes. Se comparan con los contenidos mínimos según ACM¹, IEEE² Curricula IEEE.
- *Visión de expertos (docentes) internacionales.* Los temas organizados en formulario Google Online donde cada uno y todos revisan cada temática y hacen su apreciación de pertinencia, sugiriendo, de ser el caso, la unidad donde puede o debe ir.
- *Analizar la información recolectada e identificar posibles consensos.* Se examinaron las sugerencias de los participantes, apropiándose aquellas que fueron evaluados como pertinentes por al menos el 70 % de los participantes.

- *Organización de los contenidos basada en una visión consensuada general de los expertos.* Se organizaron las unidades temáticas según el consenso en la evaluación realizada por los expertos, además las temáticas pertinentes se compraron con las temáticas sugeridas por ACM en el 2014.
- *Reevaluar los contenidos del MOOC con expertos antes de montar a la plataforma.* Finalmente, los expertos revisan los contenidos comparados, agrupados y organizados vía formulario Google Online de los temas que componen un MOOC universal y contextualizado a las necesidades de la región.

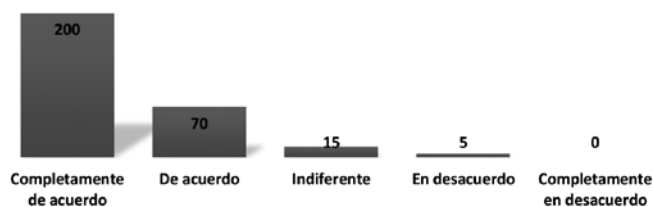
Análisis de los nuevos contenidos con estudiantes

En esta fase se consultó a 290 estudiantes que pertenecen a universidades de la región centro y sur de Colombia, y al norte del Ecuador, los cuales ya habían estudiado con el MOOC¹ (anterior) y el MOOC actual, el cual se organizó el contenido aplicando el método propuesto. La encuesta fue realizada a través de un formulario compartido en Google. La encuesta se enfatizó en la estructura de los contenidos, a continuación, se presentan algunas de las preguntas realizadas en la encuesta.

- La estructura de los contenidos contribuye al cumplimiento de los objetivos del MOOC.
- La estructura de los contenidos promueve la consecución de sus propósitos personales al inscribirse al MOOC.
- La organización de los contenidos favorece su proceso de aprendizaje de las temáticas abordadas en el MOOC.
- La jerarquía de tres niveles de contenidos facilita el desarrollo de las actividades del MOOC

En consecuencia, a los resultados de la encuesta (Fig. 1), el método de construcción colectiva del contenido propuesto, permite definir contenido estructurado y organizado en niveles, en donde los estudiantes puede de manera simple lograr sus objetivos de aprendizaje e incrementar sus conocimientos a medida que adelantan los contenidos estructurados del MOOC.

Fig. 1
Resultado de encuesta a estudiantes



Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se presenta un método de construcción colectiva del contenido de MOOC, el cual integra una serie de expertos que, a través de una visión consensuada en una estrategia de inteligencia colectiva, definen los contenidos temáticos del MOOC, para tener un contexto más globalizado y universal.

El método permitió identificar que, a través de una visión consensuada de expertos, los contenidos abarcan mayor cantidad de temáticas organizadas en unidades temáticas, a diferencia del contenido sugerido por un grupo reducido de docentes (4 o 5), tal cual como se hace en un método tradicional.

La estrategia de inteligencia colectiva permite a los expertos compartir experiencias y conocimientos por medio de las sugerencias en relación a los temas que se deben incluir en cada unidad, para que estas incluyan temáticas más relevantes a las necesidades de los estudiantes y del contexto internacional.

Según los resultados obtenidos en la encuesta la gran mayoría de los estudiantes manifiestan que la nueva estructura del MOOC está mejor organizada y de esta manera el acceso a los contenidos es fácil de seguir. Adicionalmente, los resultados permiten evidenciar, que tanto la estructura y los contenidos del MOOC son de calidad, la cual es establecida desde una perspectiva estricta que se valora acuerdo a pautas y criterios comúnmente aceptados por un grupo de expertos internacionales de gran experiencia

Referencias

- [1] M. Ma and A. Skar, "Emergence of collective intelligence in online communities" vol. 69, pp. 1718–1724, 2016.
- [2] S. Gértrudix M., Rajas F. M., & Álvarez, "Production methodology for the development of audiovisual and multimedia content for MOOC," *Rev. Iberoam. Educ. a Distancia*, vol. 21, pp. 183–203, 2017.
- [3] M. Zapata-Ros, "MOOCs, una visión crítica y una alternativa complementaria: La individualización del aprendizaje y de la ayuda pedagógica," *Campus Virtuales*, vol. 2, pp. 20–38, 2015.
- [4] T. (2014). Fischer, H., Dreisiebner, S., Franken, O., Ebner, M., Kopp, M., & Köhler, "Revenue vs. Costs of MOOC Platforms. Discussion of Business Models for xMOOC Providers Based on Empirical Findings and Experiences During Implementation of the Project iMOOX," *7th Int. Conf. Educ. Res. Innov.*, pp. 2991–3000, 2014.

- [5] D. (2014). Hollands, F. M., & Tirthali, "Why do institutions offer MOOCs?". *Online Learn.*, vol. 18, 2016.
- [6] C. (2014). Vila, R., Mengual A. & Suárez, "Evaluación de la calidad pedagógica de los MOOC."
- [7] E. Reigeluth, C. M., & Schwartz, "An instructional theory for the design of computer-based simulations.," *J. COMP. BASED INSTR*, vol. 16, pp. 1–10, 1989.

(SUBMISSION 17)

Developing a narrative database for spanish art starting from the end

ANDRÉS A. NAVARRO-NEWBALL

LUIS S. OSORIO

FRANCO D. PAREDES

JUAN C. ARÉVALO

SANTIAGO JURI

EDGAR M. AMÉZQUITA

VICTORIA E. CONTRERAS R.

Pontificia Universidad Javeriana de Cali

ISIDRO MORENO SÁNCHEZ

Universidad Complutense de Madrid

BORJA BARINAGA LÓPEZ

Universidad Francisco de Vitoria de Madrid

DIEGO F. LOAIZA B.

Universidad Santiago de Cali

Abstract

This project is aimed at tracking Spanish art removed from its place during the Spanish civil war. We present a system capable of holding over forty thousand pieces of art to know their information before the war, during the war and after the war. The system is a collaborative environment where art researches all over the world can contribute with their knowledge. It provides narrative information to the public, which includes, statistics and geospatial information

on how the piece of art travelled to different places. We proposed a structured development approach which included human interaction techniques aimed to test interface design and adequate structuring of data. However, our first challenge was to allow complex data introduction in a non-existent database. Since then, changing requirements of a problematic team member (PTM) made development complex. We present our experience on how we managed to complete a project starting from the end. Also, we present the limitations of the result and the lessons learned.

Keywords: art, narrative database, rapid prototyping, web responsive.

Introduction

There has been an interest to maintain databases aimed to preserve art. Mora [1] explains an online video database which supports a video gallery of cultural heritage. The system favours the artistic collaboration among educators, galleries, curators, and creators. Adamczyk [2] presents the Google Cultural Institute which provides tools for libraries, archives and museums and allows collaboration from expert institutions. Such sources of information are used to facilitate art understanding. Florea et.al. [4] create a painting database for art movement recognition which relies on a classification based on descriptors. Keshvari and Chalechale [3] also create a system to classify Iranian paintings using texture analysis. Also, these databases can provide novel interactive experiences. Polli [5] describes an object that helps artists produce artwork by translating scientific data to sound. Nagler et.al. [6] propose a system to show how the cinematic experience can be transformed using a geolocate narrative. Finally, these projects also favour communication in cultural communities and help to develop a cultural narrative. Cohen et.al. [7] explain an interactive web acting as an interface between communities and revitalising the cultural heritage of Australian aboriginals, while providing a tool to engage users in the narratives of the text and the digital storytelling. Similarly, the Pre-war, War, Post-war (PGP) project uses a database with WEB interface where Spanish art experts all over the world can establish a dialog. The project relies on collaborative human interaction through the web and provides additional narration which shows the geographical path of an art piece and real time statistical information obtained as the database is filled. The PGP project is the first of its kind to track Spanish art lost during the civil war and is available at: http://pgp.ccinf.es/PGP/#/_

The PGP project provides: (1) tools for investigating and cataloguing entries saved and deposited in safe places by the Republic during the war and contrast

them with the fate of these works in the immediate post-war period as well as tracking the works that came out of Spain during this period; (2) a web site to aid open, accessible and participatory research that allows the analysis, the participation of other researchers and the dissemination of this research. All the problems of the artistic heritage during the war and the post-war period are marked by the propaganda orchestrated by the Franco regime, on the mass destruction of works of art by the Republicans and the silence about the work carried out by the Central Board and the delegates of the Republic. Bringing to light the reality of this period is crucial for the Spanish heritage, conducting a quantitative and qualitative analysis of the saved works and their destination, will serve to clarify the work carried out by all those who, during the war, fought to preserve art.

Fig. 1
The PGP database



A) Home page. B) Advanced search. C) Viewing details in "Las Meninas". D) General statistics. E) Administrative entrance. F) Information Introduction Interface. G) Viewing details in one painting from El Greco. H) Edition option.

The PGP system consists of two main modules. In the Front-end, Fig. 1A shows the home page which contains options to get information about the project, collaboration possibilities, contact details, credits, access a forum, access to manage the database and a results section. Also, it contains a search bar with access to an open search and to an advanced search. Fig. 1B shows the result of the advanced search. It provides a heading where search parameters can be introduced and a view option to get details of a piece of art. Fig. 1C shows the details of a chosen piece of art when the view option is chosen. Fig. 1D shows

the results as statistical information. The forum was implemented using an open source forum. The Back-End is accessed from the Database option in the main menu. Fig. 1E shows the Front-end's main page. This page contains options to track database activity, manage administrative users (those capable of change information in the database), to introduce information about pieces of art and to access the public open and advanced searches. Fig. 1F shows the Information Introduction Interface (III). It provides the Insert, View, Delete and Edit options and a heading where search parameters can be introduced, similarly to the advanced search option. Fig. 1G shows the details of a chosen piece of art when the View option is chosen. The Edition option (Fig. 1H) can be accessed from the III (Fig. 1F) or the piece's visualisation (Fig. 1G).

The development process

We followed a Rapid Application Development (RAD) approach. "RAD projects involve small teams of four to six people never more than 10, including dedicated end-user support and IT specialists and management. RAD uses joint applications development (JAD) and iterative -prototyping techniques within a time box of 30, 60, 90, to 120 business days, from requirements analysis through delivery on small to medium-size projects, (Murch [8] Section One)." Overall, this technique helped us cope with questions such as those identified by (Murch [8], Section One): "When is the next release?", "When can I get the changes I asked for?", "When can I get the new reports?" With RAD, we managed to finalise the PGP project starting from the end. During the whole process, we held Skype meetings regularly and continuous email communication, as part of the team was in Madrid and the development team was in Colombia. However, the normal development flow had to overcome the obstacles from PTM and his ever-changing requirements.

Major iteration 1. Data introduction for a non-existent database

The first set of requirements consisted of an extensive list presented as a word document, describing the kind of input a database should receive for each piece of art. Each piece of art consisted of around 70 entry fields of information and the interface should activate input fields depending on the chosen option. The same day the project started we were confronted to the question: "Is the database ready yet? We need to start introducing data now, otherwise the project will suffer serious delays." Thus, our first challenge was to allow complex data introduction in a non-existent database. We chose a system to capture data that could be exported to the final database later. We chose Microsoft's

Access, a personal database environment, because it provided an easy-to-use programming environment, it could be programmed to provide a usable input interface and because all the team members had an academic licence. We defined a relational model with 18 tables. The Basic Data table kept most information from the pieces of art. Tables such as Storage Organisation kept the id and description of institutions where the art was kept. Tables such as Author Index kept information related to artists (school, date, name), and tables such as City maintained a complex relationship that indicated the republican zone and actual zone where the city was located. The Access Prototype stage was a productive one because we managed to understand the kind of input interface that the user required. With this interface two members of the team could introduced around 150 records within a week time.

Major iteration 2. Importing from a different data model

The Spanish Institute for Cultural Heritage (IPCE) provided the team with around four thousand records of Spanish art, which were stored in a simpler database model built in Access. Then, the PTM required us to migrate the IPCE's model to our Access prototype, so that art experts could edit them to correct and complete the information. The migration script took us two weeks to develop. Now, the art experts had access to thousands of pieces of Spanish art. They were advised to back up information at the end of each day and were told that Access would not work as a collaborative database, so each expert should choose some records to edit and identify them to make migration to the final database easier. However, after having corrected around 1200 records, the Access database started having problems. Memory problems arose from the visualisation of images associated with the database and information got lost because art experts did not back up the daily work. We had to stop data introduction while we finished developing a definite III supported by a MySQL database.

Major iteration 3. The Front-End

While the art experts waited for the development of the final system, we decided to implement the PGP's Front-End based on the prototype developed in Wix. This kept the art experts and the PTM calmed while we could finish. However, there were conflicts at this stage too. Programmers, more focused on functionality made some minor spelling mistakes which caused the anger of the PTM. Then, we decided to show him the prototype of the final PGP system. Because we did not manage to make the PTM understand this was a prototype for discussing the usability of the system, he focused his complains

on the spelling mistakes and started to put more pressure. The Front-End was developed in a WEB responsive manner.

Major iteration 4. The Back-End

We finished developing the Back-End a few weeks later. We used the Yii Framework to control a MySQL database. We developed our data model further as the one in the Access prototype was not fully normalised. Basically, we had to split the Basic Data Table in two, the Art that Stayed in Spain and the Art that Stayed Somewhere Else tables. The III worked just fine. Considering our previous experience in Access, we implemented GUI elements to allow easy search of pieces of art. The Yii technology provided basic WEB responsiveness as well.

Major iteration 5. Back-End and Front-End integration

At this stage, the PTM started to put too much pressure to implement searches in both, the Front and the Back-End. Additionally, he wanted to have the final system. With the pressure on, the technical leader divided the team in three groups. The first team (Team A) would finalise the Front-End (Fig. 1A to D), the second team (Team B) would finalise the Back-End (Fig. 1E to H), and one person would implement a forum using open source software. This was a successful strategy to finalise the project, however, it came at a cost. Team A had expertise on the Angular framework, while Team B had expertise on the Yii framework. Thus, the Front and Back ends were implemented using different technologies that accessed the same database. This caused an inconsistency in the GUI that could not be corrected. The heading among the Front-End, the Back-End and the Forum could not be maintained. Technology to embed all the interfaces in the same heading caused the system to slow down. As a consequence, the Back-End connection with the main page and with the search options were implemented using a link. Also, a link takes the user from the Forum to the main page. Finally, there were some problems with WEB responsiveness in small devices, particularly in the display of wide texts associated with the art pieces.

Major iteration 6. A new requirement and corrections to get the final result

After three months of using the PGP system, the PTM came up with a new requirement. He had forgotten about an important field of information that had to be stored for every record. Additionally, he sent a list of errors that required correction. We managed to include the new field without altering the system and we corrected all the problems. The PGP system is holding more than five thousand pieces of Spanish art and it is aimed to hold around forty thousand.

Conclusions and further work

We have shown our experience developing the PGP system starting from the end. We were able to fulfil the project's expectations following RAD and iterating several enhanced prototypes. Our main obstacle was the interaction with the PTM. From this interaction, we learned some lessons: (1) as part of a technical research team you need to make clear your role from the beginning and discuss and clarify the complexities of software development with other interdisciplinary team members; (2) the RAD approach allowed us to iterate enhanced prototypes that helped us reach the final system. However, as this was our first RAD experience, the PGP system has some minor GUI inconsistencies. It is advisable to define GUI guidelines and to choose one consistent development framework before dividing the development team; (3) constant face to face communication with other team members helped us solve most of the problems. Email communication was not as effective as it caused a lot of misunderstandings. We held Skype meetings every fortnight to solve doubts and explain advances and technical limitations. These helped all the team members to maintain calm; (4) WEB responsiveness can have limitations in small screens when displaying complex information. Sometimes, the framework used can bring limitations. For example, it was difficult to implement an effortless way to delete an image associated with a piece of art. Changing the actual way we implemented it, would have caused major problems in functionality and affected the overall usability of the system. Actually, the user has to download a "not available image" and upload it to the record.

Our main interest was to research in: (1) the usability of the system following Human Computer Interaction approaches; (2) the narrative provided by the database. However, the PTM saw us as developers only. For this reason, we had to learn the RAD approach and on the run, identify the best possible GUI for the art experts, thus, fulfilling our first goal. Despite of minor inconsistencies and a few difficult tasks (e.g. deleting an image associated with a piece of art), the GUI performs nicely. As for our second goal, we have achieved some narrative in the PGP system, but are still developing it further. Our narrative power comes from the collaboration of several art experts (as in Cohen et.al. [7]). The fact that common users can track the Pre-war, War, Post-war story of more than five thousand pieces of art demonstrates it. Even though we did not develop advance machine learning techniques (as in Florea et.al [4]) our systems narrates the state of the update of the Spanish art by providing never seen before real time statistics (Fig. 1D). Our further work consists on providing and enhanced user experience to track a piece of art using visual geographical and temporal information. When we finish this final stage, the user will not have to rely on textual information about the art journey. Also, he or she will

have the chance to contextualise, within the system, what was happening as the piece of art travelled to various places.

Acknowledgments

We want to thank IPCE Madrid and the project “Investigación histórica y representación digital accesible. El patrimonio artístico durante la guerra civil y la posguerra”. Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Ref.: HAR2014-53939-P. Programa estatal de fomento de la investigación científica y técnica de excelencia, subprograma estatal de generación del conocimiento, convocatoria 2014, modalidad 1: proyectos de I+D.

References

- [1] Mora Fernández, J.I.: Multicultural videos: an interactive online museum based on an international artistic video database. In Proceedings of the 1st ACM international workshop on Communicability design and evaluation. In: cultural and ecological multimedia system (CommunicabilityMS '08), pp. 23-30, (2008). Available: DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1462039.1462045>.
- [2] Adamczyk, P.: The Google Cultural Institute: Tools for Libraries, Archives, and Museums. In: Proceedings of the 15th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries (JCDL '15), pp. 1-1, (2015). Available: DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2756406.2756407>.
- [3] Keshvari, S., Chalechale, A.: “Classification of Iranian paintings using texture analysis”. In: *6th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)*, (2016), pp. 136-140, DOI: 10.1109/ICCKE.2016.7802129.
- [4] Florea, C., Condorovici, R., Vertan, C., Butnaru, R., Florea L., Vranceanu, R.: Pandora: “Description of a painting database for art movement recognition with baselines and perspectives”. In: *24th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, (2016), pp. 918-922, DOI: 10.1109/EUSIPCO.2016.7760382.
- [5] Polli, A.: “DATAREADER: a tool for art and science collaborations”. In: *Proceedings of the 12th annual ACM international conference on Multimedia (MULTIMEDIA '04)*, (2004). pp. 520-523, DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1027527.1027654>

- [6] Nagler, S., Hicks, A., Hackett, M., Zachkarko, K.: "NARRATIVES: geolocative cinema application". In: *Proceedings of the 16th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI '14)*, (2014). pp. 593-595, DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2628363.2645695>.
- [7] Cohen, H., Morley, R., Dallow, P., Kaufmann, L. Database "Narratives: Conceptualising Digital Heritage Databases in Remote Aboriginal Communities". In: *4th International Conference Information Visualisation*, (2010), 2010, pp. 422-427, DOI: 10.1109/IV.2010.65
- [8] Murch, R.: *Rapid Application Development Lifecycle- RAD - The Complete Guide*. ASIN: B008NC0NLI, (2012).

(SUBMISSION 103)

Manikin 3DUI to Demo Spinal Column Flexion

SERGIO VALDIVIA-TRUJILLO

ROBIN BLANCO

ALVARO JOFFRE URIBE-QUEVEDO

LINA MARÍA PENUELA CALDERÓN

*Universidad Militar Nueva Granada**Bogota, Colombia,*

DAVID ROJAS-GUALDRON

*The Wilson Centre, Toronto, ON,**Canada M5G 2C4*

BILL KAPRALOS

*University of Ontario Institute of Technology**Oshawa, ON, Canada, L1H 7K4*

Abstract

Around 43 83 % of the world population suffers lumbar spine pain, and exercise allows prevention and treatment. However, exercising understanding is challenging due to the clarity of printed guides and oral explanations, that can negatively impact the patient's adherence. Our work focuses on the development of an inertial measuring unit-based manikin 3D user interface for demoing posture exercises and help to better understand the exercises, which we validate through usability testing and user's feedback.

Keywords: 3DUI, posture, tracking.

Introduction

Musculoskeletal disorders are one of the main causes of work absenteeism and are associated to repetitive movements and/or bad postures habits [1]. Prevention and treatment require physical exercise, which is often presented with printed guides, oral explanations, and demonstrations that can negatively impact motivation. Currently, apps, multimedia, wearables, and VR solutions, are resulting in engaging scenarios with the potential of promoting physical activity [2]. Measuring tools include optical and inertial sensors that can provide engaging experiences by providing visual, audio and performance feedback [3]. However, user interfaces may also employ motion capture technologies by integrating sensors and actuators within puppets, dolls, and manikins to provide versatile tool to animate and control avatars [4][5]. Use of such technologies has seen applications related to puppetry control [6], and character animation [7].

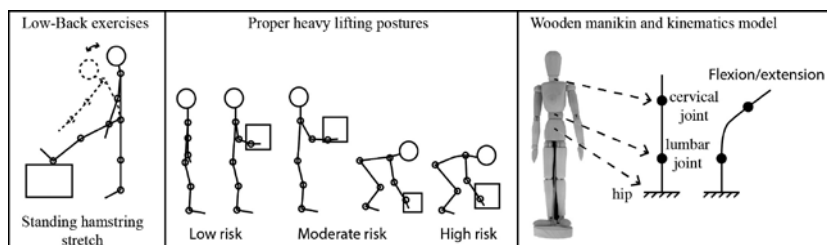
In this work, we present the instrumentation of a wooden artist's manikin to be used as a 3DUI for assisting a physiotherapist into demonstrating and customizing a virtual avatar for a VR-based interactive posture exercising guide.

Materials and methods

To develop the 3DUI we analyzed and characterized the flexion/extension exercises associated with proper spinal column care to determine the parameters of our system. The spinal column provides the main support for the body and its care includes exercising and proper postures for lifting heavy objects, that may reduce the risk of suffering low-back pain. The spinal column was segmented as a serial kinematics chain with cervical and lumbar joints, as presented Fig. 1. To implement the 3DUI motion capture system, we chose a wooden manikin (Fig. 1), two inertial measurement units (IMU9250), and an Arduino Uno board using an adaptive Kalman Filter from the Ardunity asset for Unity 3D to calculate the body rotations. Physical interactions with the manikin were complemented with a virtual manikin animation developed with the Unity3D game engine responding to the IMUs signals.

Fig. 1

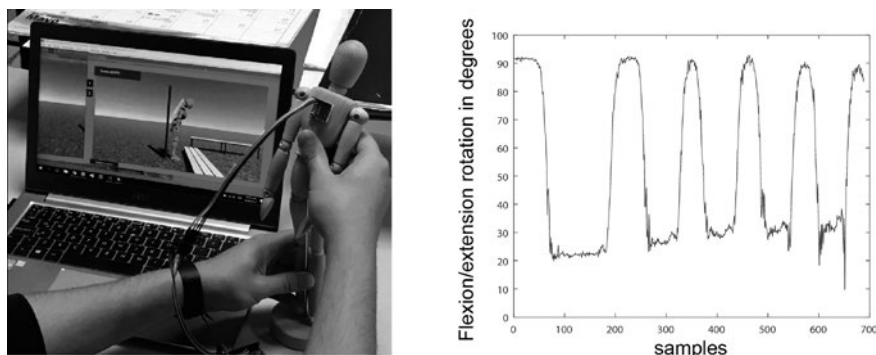
Heavyweight lifting appropriate postures and associated low/upper exercises



User interface

The 3DUI user interface is designed to allow posture mapping from the wooden doll to provide a visual representation of the physical activity that in conjunction with the IMUs information creates sequences of movements with ex-ion/extension information and recommendation for exercising. The information from the sensors provides a visual representation of the exercises with a reference posture to help users reproduce the activity on their own. The GUI was designed to be used as a visual reference for the therapist and the patients, receiving the IMU signals and storing the doll positions into the system. This gives the users the possibility to see how the exercises are intended to be, and how are supposed to be executed, creating a small routines library that can be used to exercise and support the treatment with the physician and health care professionals. The GUI, the manikin interface and a sample of the manikin's torso flexion and extension are presented in Fig. 2.

Fig. 2
Manikin UI and motion capture visualization with a virtual avatar
and motion tracking data



Results

Here we present the development of a 3DUI to demo spinal column flexion movements. To analyze the manikin use, we invited 10 participants to employ it as a tool to demo back exercises. The task consisted in configuring the back postures with the manikin and observe the created postures to demo a spinal column exercise. We conducted a System Usability Scale (SUS) [8] with the participants comprised of four office workers, four fitness trainees, and two fitness instructors. SUS average scores were obtained as follows: an overall of 75.25/100, where Office workers scored 77.5/100, fitness trainees 73.125/100, and the instructors 75/100, indicating that the 3DUI is usable but can be improved. To further understand the usability issues Table 1 presents the average score for each group of participants.

Table 1
Average sus scores for each group of participants

SUS Question	Office worker	Fitness trainee	Fitness trainer
I think that I would like to use this system frequently.	4	4.5	3.5
I found the system unnecessarily complex.	2	1.75	2
I thought the system was easy to use.	4	4	4.5
I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	2.25	1.75	2
I found the various functions in this system were well integrated.	4.25	4.25	3.5
I thought there was too much inconsistency in this system.	1.5	1.75	3
I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.	5	4	4.5
I found the system very cumbersome to use.	2.75	2.5	3
I felt very confident using the system.	3.75	4	4.5
I needed to learn a lot of thing before I could get going with this system.	1.5	2.75	2.5

Discussion

All participants expressed interest in the app, more specifically, office workers believed the 3DUI is easily understandable, fitness trainees believed the 3DUI can help remembering movements, and the fitness trainers were interested in monitoring the physical activity. From the individual SUS scores, we identified the most important usability issues to address regarding the system complexity which required all participants to receive an explanation before start using it. Additionally, since this is an ongoing work the system was found to be inconsistent, more specifically with the GUI information and actions. Interestingly, the SUS scores provide insight on how different stakeholders perceived the system and its potential to address a better understanding of back posture exercises.

Future works will focus on increasing the degrees of freedom and save the postures in a database to compare them with tracking information from the person exercising.

Acknowledgements

This research was funded by Universidad Militar Nueva Granada's Research Vice-rectory 2017, under Project ING-2377.

References

- [1] Takala, J., Hämäläinen, P., Saarela, K.L., Yun, L.Y., Manickam, K., Jin, T.W., Heng, P., Tjong, C., Kheng, L.G., Lim, S., et al.: "Global estimates of the burden of injury and illness at work in 2012". *Journal of occupational and environmental hygiene* 11(5) (2014) 326-337.
- [21] Silveira, P., van het Reve, E., Daniel, F., Casati, F., de Bruin, E.D.: "Motivating and assisting physical exercise in independently living older adults: a pilot study". *International journal of medical informatics* 82(5) (2013) 325-334.
- [3] LaViola Jr, J.J.: "An introduction to 3d gestural interfaces". In: ACM SIGGRAPH.

(SUBMISSION 11)

The use of artificial intelligence to enable unlimited quantifying solutions in hospitals and clinics. A robust foundation for creating the applications store in medicine

FERNANDO YEPES-CALDERÓN

JAMES GORDON McCOMB

*Children Hospital Los Angeles, Neurosurgery Division
Los Angeles CA, USA*

Abstract

Clinics and hospitals using the old film-based image archiving platform have been replacing it with the Picture Archiving and Communication System. The later is a digital replacement of the former that covers the storing capabilities, and yields outstanding delivering services. However, the digital system lacks analytical capabilities and access to the data is only serve in proprietary viewers with no interfacing or scripting ports. In this document, we present a method to empower the digital system in mention with the desired analytical capabilities. The implementation is designed, born and tested inside a hospital where the concepts of clinicians, technicians, data administrator and legal advisors have been considered. A clinical assisting tool based on machine learning that runs on the created vehicle, is presented as a proof of concept for the viability and feasibility of the applications store in medicine.

Keywords: PACS, machine learning, clinical image processing.

Introduction

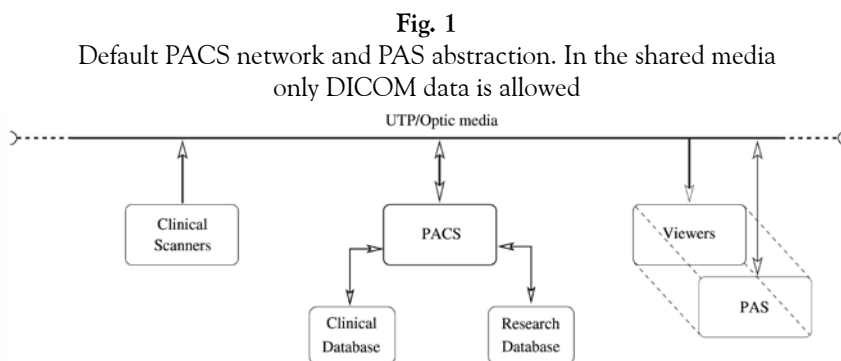
Clinicians are constantly dealing with inherent uncertainty of the lack of quantifications. Although the simplicity of many of the state of care procedures, their systematization is precluded due to the hermeticism of the Picture Archiving and Communication System (PACS). Basically, by conception, the PACS denies bit-level access to the images.

The first part of this manuscript, presents a vendor-independent solution that boost PACS capabilities to a point where the desired analytics is served. Then, a proof of concept is designed to run on the newly added specification. In the proof of concept, machine learning is utilized to automatically extract the brain lateral ventricles in the search of making the hydrocephalus diagnosis faster, easier and more accurate. This volume calculation can not be directly performed in the clinical platform due to the restrictions that we already mentioned; the PACS does not allow user-interaction at pixel level; therefore, solutions based on registration techniques [1,2,3], fuzzy thresholding [4], seeds for constant neighboring and boundary tracking [5,6] are not clinically suitable.

Materials and methods

The PACS vehicle

The network at the hosting institution was slightly modified to achieve the desired functionality. Fig. 1 illustrates all the elements present in the network. Additionally, a designated computer, available to clinicians has been assigned as the Processing Application Server (PAS).



The current strategy pivots around the PAS, which is seen by the PACS as any other client in the network. This empowered client generates a new pattern of communications with the PACS and other viewpoints as well using pythonic gadgets.

The brain ventricular volume estimator

The image vehicle conceptualized in Section 2.1, is tested with a machine learning solution where the aim is to automatically estimate the volume of the lateral brain ventricles. The following section details the automatic ventricular volume estimator (AVVE) algorithm.

Testing data

The data consist of MRI-T1 studies of 3 clinical subjects with different degrees of hydrocephalus and one with normal ventricular volume. All the subjects were retrieved from the database of the hosting institution. The Image parameters are shown in the Table 1. The images of another 43 subjects and their manually extracted masks were used for creating an estimator in the learning stage of this artificial intelligence implementation. The use of this retrospective data was authorized by the local IRB.

Core concept

We see segmentation as a problem of classification. The approach to the proposed classification problem, we hypothesize that the following features are a robust set for automatic ventricular segmentation.

Histogram-based regionalization (HCI)

Each voxel in the image will be assigned a value for HCI that is extracted as follows:

Let $f(x)$ be the function representing the envelope of the histogram of image $2Im$. Then, the positive values of x where $ddxf2 = 0$, will pick the abrupt changes in the envelop. The four most prominent detected peaks ($p1, p2, p3, p4$) are assigned as the intensity boundaries of each structure in the brain and then, back in the image domain, the voxels intensities $I(V_i)$ serve to label each V_i as follows:

$$HCI_i = \begin{cases} R1, & \text{if } I(V_i) < p_1 \\ R2, & \text{if } p_1 < I(V_i) < p_2 \\ R3, & \text{if } p_2 < I(V_i) < p_3 \\ R4, & \text{if } I(V_i) > p_3 \end{cases} \quad \forall V_i \in Im$$

Distances to the center of the magnet (ND)

The ND is extracted as follows:

$$ND_i = \sqrt{(x_i - SCV_x)^2 + (y_i - SCV_y)^2 + (z_i - SCV_z)^2} * V_{size} \quad \forall V_i \in Im \quad (1)$$

Cardinality (Card)

In order to obtain the cardinality feature, let Dx, Dy and Dz be arbitrary dividers of the image axis. Then, using the length of the axes R , let $Divx = Rx/$

$D_x, Div_y = R_y/D_y$ and $Div_z = R_z/D_z$ be the size of segments created with the D dividers. Then apply Eq. 2.

$$Card_i = \frac{x_i}{Div_x} + Div_y * \left(\frac{y_i}{Div_y} \right) + (Div_z)^2 * \left(\frac{z_i}{Div_z} \right) + 1 \quad \forall V_i \in Im \quad (2)$$

Neighboring (NEIG)

Assume that voxel V is in a position given by coordinates (x, y, z) . Assume also that each coordinate can be independently varied with the values in array $step = [-1, 0, 1]$. This allows the system to query the intensity of all voxels V_N . Also, when querying the intensity of a V_N reached with $step = [a, b, c]$, the V_N is located at $(V_N x + a, V_N y + b, V_N z + c)$. The outputs in the following expression are saved in array c .

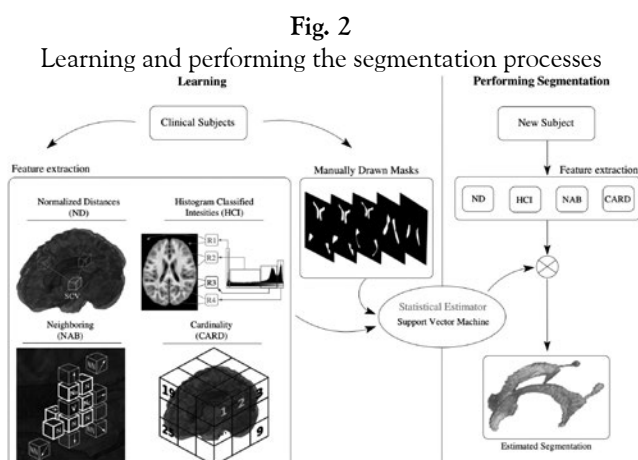
$$c_k = \begin{cases} 1, & \text{if } abs(I(V) - I(V_N)) > 0.2 * (abs(I(V_N) - I(V_{NN}))) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall step!$$

And then,

$$Neig_i = \sum_k^k c_k \quad \forall V_i \in Im \quad (3)$$

Statistical estimator creation

The system creates the statistical estimator by computing the features presented above and the correct responses, that are provided with the manually extracted masks. Expert radiologists are employed in the manual segmentation tasks. Later, the statistical estimator is used to automatically perform segmentation in any new subject. See Fig. 2.



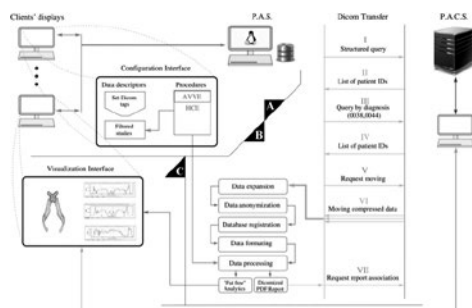
The features are extracted for each voxel in the training images, and a support vector machine creates the separating hyperplane. Once the separating hyperplane is created, the automatic segmentation in any new subject is performed by extracting the same features used in the training process and the statistical estimator.

Results

The PACS vehicle

When one of the clients in the network becomes a PAS, a new set of interactions is enabled. Fig. 3 conceptualizes the associations and new capabilities. The left side corresponds to clients-PAS interactions and the PAS procedures. The horizontal column labeled “Dicom Transfer” defines the set of messages interchanged between the PAS and PACS in a run without errors or exceptions. Finally, the right-side diagram shows the new visualization capabilities that are launched from the PACS viewers and served to the clients by the PAS.

Fig. 3
PAS interactions and work-flow in the enhanced PACS system



The procedures AVVE and HCE are proof of concept mechanisms. The AVVE algorithm is presented in this manuscript.

In the proposed architecture, a normal course of execution requires physicians to associate the studies to the procedures using the configuration interface -see panel A in Fig. 3-. The studies are itered in a wide range of possibilities yielding from one subject { for example using a PatientID (0010,0020) } to several of them { by using the diagnosis DICOM eld (0008,1080) }. This studies-procedures association task generates a request to the PAS, which will establish communication with the PACS to retrieve the data. Once the images are in the PAS, it follows a pipeline that expands, decrypts, changes the image format, anonymizes the data and coherently concatenates the images { see frame B in Fig. 3 }. The data is then processed as dened in the procedures box of the configuration interface. At the end of the processing stage, the resulting analytical data is published in a report, which is dicomized and sent back to the PACS {see interaction VII in Fig. 3}. This association enables the one-click concept for clinical applications. Also, a permalink is included in the report which brings to life the PAS visualization interface { see panel C in Fig. 3 }. Therefore, one more click will allow the clinicians to interact with the analytical data in a javascript empowered web environment.

Pythonic procedures that support the PACS-PAS interaction

```
# query the PACS by Patiend ID and filter by image modality

def queryPACSbyPatientIDwithModality(modality):
    qstr = ""
    for a in qarray:
        qstr = qstr + " -m " + a + "=""
    command = "findscu -b %s -c %s%s:%s %s -m Modality=\"%s\" \"-m %s=\"%s\" % (
        dqn, aqn, aqnip, aqnport, qstr, modality, qarg, qval)
    print command
    p = subp.check_output(command.split())

    return p

# Specific method to return the contents of StudyInstanceUID if it exists

def returnStudyIUDI(p):
    studyNos = []
    pp = p.split()
    idx = [[index, item in enumerate(pp) if item == '(0020,000D)']
    if idx > 1:
        for midx in idx[1:]:
            mystr = pp[midx[0] + 2]
            studyNos.append(mystr[1:len(mystr) - 1])
    #studyNos = list(set(studyNos))
    print
    return studyNos

# Retrieve function, decryption, decompression and dicom-nifti conversion

def retrieveDataByIUDI(studyUID):
    pres = []
    if (len(studyUID) > 0):
        createStudyPathTree()
        conti = 0
        for study in studyUID:
            command = "movescu --dest %s -b %s -c
            %s%s:%s -m StudyInstanceUID=%s\" % (dqn, dqn,
            aqn, aqnip, aqnport, study)
            print command
            p = subp.check_output(command.split())
            studyUID.pop(studyUID.index(study))
            pres.append(p)
            convertSintaxFile(study)
            print('The study %s is %s' %(conti,study))
            convertImageData(study)
            move2nii(study)
            print ('I finished processing the instance
            %s' % (study))
            time.sleep(2)
            conti = conti + 1
        return pres
```

Note the key elements in the code. In the rst procedure, the command ndscu is used together with a search string that is dynamically built respect- ing the syntaxis of a PACS query. This procedure returns in p a text response, where

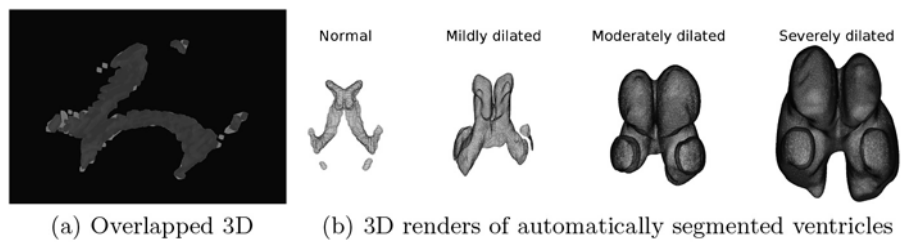
instance separation is not provided. The response *p* is given as the argument to the secondly presented procedure. Here, the system looks for the DICOM (0020,000D) codes, that correspond to the studies' unique identifiers. There may be several of them in *p* and all of them are sequentially saved in the variable *studyNos* thanks to the loop dened by the *for* sentence. Finally, the third function receives the study codes in the array *studyNos* and retrieves the information using the command *movescu*.

After the methods presented above are executed, the images are available in the PAS and analytical procedures such as the one presented in the following section can be applied.

The automatic ventricular volume estimator (AVVE)

The Fig. 4(a) depicts the visual inspection performed with all studied subjects. The validation of the automatic method is realized by observing the quantifications extracted with the Jaccard index. See the values for all the complementary datasets in the Table 1.

Fig. 4
Visual inspection



In Fig 4(a), manually obtained masks (light blue) and automatically obtained masks (yellow), the green are overlapping regions. The image corresponds to subject with healthy ventricles. The Fig. 4(b) shows 3D digital reconstructions of the automatic segmentations done in the fours testing subjects.

Table 1

Record of image parameters and automatically detected volumes in the testing subjects. Hc stands for hydrocephalus and idx stands for index

Subject	Image parameters		Automatic volume		Jaccard index
	Res(mm)	Matrix size (px)	Voxels	Milimeters	
Subject xxxx	0.60x0.60x4	200x200	7827	11.27	0.92
Mild HC	0.62x0.62x5	200x200	14458	27.78	0.90
Moderate HC	0.59x0.59x4	240x240	258905	258.90	0.94
Severe HC	0.39x0.39x5	240x240	770534	585.99	0.89

Discussion

The presented solution has been conceived to utilize the existing PACS implementation. At the same time, we propose a framework that allows researchers to test innovations and validate their models with medical data.

The machine learning implementation proposed here reached a 94% of accuracy and it holds promises to improve further in the light of the unlimited amount of available data in the PACS with which to learn.

Regarding thresholding methods such as [7], they have not proved to be fully adaptable to the point of being launched alone as an absolute solution. They are usually presented together with other strategies like in [8]. Moreover, these algorithms have not been reported to be useful clinically or in the presence of abnormalities.

Recent sophisticated methods have been presented where the preliminary evidence suggests sufficiency for segmenting the brain ventricles [9,10]; however, are unlikely to be implemented clinically due to their need for human interaction. The capability to learn makes the presented strategy available for a wider purpose, hypothetically accomplishing segmentations in any part of the human body and in the presence of any abnormality.

Conclusions

PACS analytical empowering solutions not only favor clinicians by speeding their procedures and diminishing the inherent uncertainty risen from purely qualitative assessments, the patients are also benefited with accurate and repeatable verdicts. Additionally, as the information is technically expedited, research implementations would faster travel from conception to implementation. The confidentiality and legal policies still hinder the way solutions for the field are designed, but as demonstrated here, the technology provides the clues to extract the desired numbers without the need of human operators.

References

- [1] M. Prastawa, J. H. Gilmore, W. Lin, and G. Gerig, "Automatic segmentation of MR images of the developing newborn brain," *Medical Image Analysis*, vol. 9, pp. 457 – 466, 2005.

- [2] M. Murgasova, L. Dyet, D. Edwards, M. Rutherford, J. Hajnal, and D. Rueckert, "Segmentation of Brain MRI in Young Children," *Acad Radiol*, vol. 14, pp. 1350 – 1366, 2007.
- [3] Qiu, Y. Chen, J. Kishimoto, S. de Ribaupierre, B. Chiu, A. Fenster, and J. Yuan, "Automatic segmentation approach to extracting neonatal cerebral ventricles from 3D ultrasound images," *Medical Image Analysis*, vol. 35, no. 7 – 8, pp. 181 – 191, 2017.
- [4] Ciofalo and C. Barillot, "Atlas-based segmentation of 3D cerebral structures with competitive level sets and fuzzy control," *Medical Image Analysis*, vol. 13, no. 3, pp. 456 – 470, 2009.
- [5] Dubois, L. Hertz-Pannier, G. Dehaene-Lambertz, Y. Cointepas, and D. L. Bihan, "Assessment of the early organization and maturation of infants' cerebral white matter fiber bundles: A feasibility study using quantitative diffusion tensor imaging and tractography," *NeuroImage*, vol. 30, pp. 1121 – 1132, 2006.
- [6] P. A. Yushkevich, J. Piven, H. C. Hazlett, R. G. Smith, S. Ho, J. C. Gee, and G. Gerig, "User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: Significantly improved efficiency and reliability," *Neuroimage*, vol. 31, pp. 1116 – 1128, 2006.
- [7] R. Kikinis, M. E. Shenton, G. Gerig, J. Martin, M. Anderson, D. Metcalf, C. Guttmann, R. McCarley, M. W. Lorensen, M. H. Cline, and F. A. Jolesz, "Routine Quantitative Analysis Spaces with MR Imaging," *JMRI*, vol. 2, no. 1, pp. 619–627, 1982.
- [8] P. Aljabar, K. K. Bhatia, M. Murgasova, J. V. Hajnal, J. P. Boardman, L. Srinivasan, M. A. Rutherford, L. E. Dyet, A. D. Edwards, and D. Rueckert, "Assessment of brain growth in early childhood using deformation-based morphometry," *Neuroimage*, vol. 39, pp. 348 – 358, 2008.
- [9] G. Mandell, J. W. Langelan, A. G. Webb, and S. J. Schiff, "Volumetric brain analysis in neurosurgery: Part 1. Particle filter segmentation of brain and cerebrospinal fluid growth dynamics from MRI and CT images," *J Neurosurg Pediatr*, vol. 15, pp. 113 – 124, 2015.
- [10] J. G. Mandell, A. V. Kulkarni, B. C. Warf, and S. J. Schiff, "Volumetric brain analysis in neurosurgery: Part 2. Brain and CSF volumes discriminate neurocognitive outcomes in hydrocephalus," *J Neurosurg Pediatr*, vol. 15, pp. 125 – 132, 2015.

(SUBMISSION 191)

Implementing a framework for WSN applications

ERNESTO RUA

JULIO SEFERINO HURTADO

JOSÉ LUIS VILLA

*Universidad Tecnológica de Bolívar
Cartagena, Colombia*

Abstract

One of the growing problems of the Wireless Sensor Networks is that each sensor manufacturer has its API and middleware for application development. As a consequence, the programmer must adapt the solution to a single manufacturer. The project aims to use more than one sensor node from different manufacturers with a development framework, a middleware and a communication protocol such as MQTT, improving the convergence problem in WSN and IoT applications.

Keywords: wireless sensor networks, internet of things, frameworks.

Introduction

Wireless Sensor and Actuators Networks are becoming the basis for rapid growth of multiple applications in different fields such as industrial environments, agriculture, home automation, military environments, and environmental detection. Each application has different requirements in terms of measurement and control tasks, node functions, network size, complexity and costs. But one of the growing problems of WSN is that every node manufacturer has its application development environment, i.e. the programmer must use a single

manufacturer for the solution that he wants to implement. However, there are applications where different sensors from different manufacturers are needed and this becomes a problem in the analysis, development and implementation of solutions, also an increasing cost and time of the development. Therefore, the above is the main justification for designing and implementing a development framework for WSN that would be adaptable to various sensor node manufacturers.

To solve the problem of the persistence of the data obtained by the sensors, there are solutions as described in section 2, but none develops an integral solution of the process. This is why this paper presents the design and implementation of a prototype of a development framework for the capture, control, storage and publication of data from WSN.

The article is structured as follows. In section II we present related frameworks previously published. Section 3 presents the analysis of use case and framework design. Finally, section 4 describes the component layers of the Framework.

Previously published frameworks

In this section, we describe some of the frameworks reported in the literature.

EMMA framework [1]

The EMMA (Environment Monitoring and Management Agent) system proposes a set of software to implement and execute local services through sensor networks and wireless actors (WSAN) through a middleware based on resource-oriented architecture (ROA).

USEME framework [2]

This work proposes a service-oriented, component-based framework for developing real-time and efficient WSAN applications. Developers can specify the overall behavior of the application in a platform-independent manner using the abstract USEME language.

AllJoyn [3]

The AllJoyn framework comprises Apps and Routers for short. Apps communicate with Routers and Routers communicate with Apps. Apps can only communicate with other Apps by going through a Router.

The difference between the frameworks presented in this section and our proposal is that we have tried to make the access and configuration of the node as part of the framework and not depending on the specific configuration software of the hardware node.

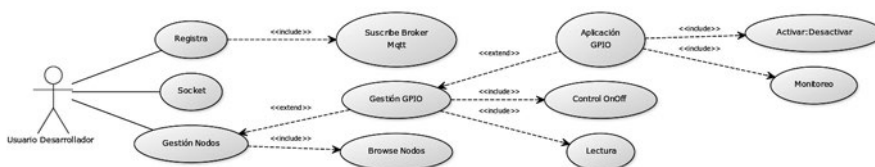
Framework analyses and design

In this section, we introduce the framework use case, then we introduce the proposed framework.

Development framework use case

The use case of the Development Framework is depicted in Fig 1. According to the use case, we should satisfy the following functional requirements: A communication protocol, implement socket for real time and data persistence.

Fig. 1
Development framework use case



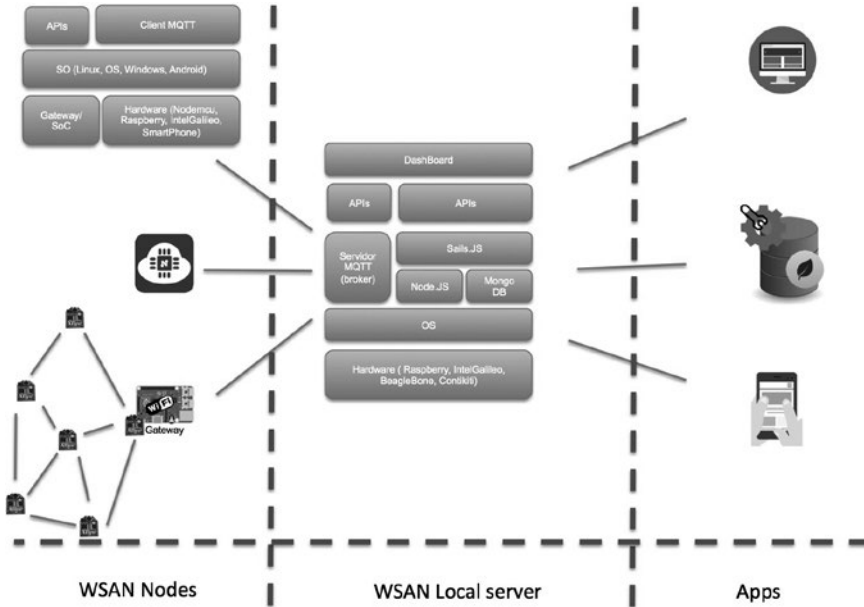
Framework design

The design of the development framework and middleware for WSA is composed of several layers of abstraction. This allows the development of WSA applications to be much faster, more efficient and intuitive for the application developer. The development engineer focuses on the logic of the problem and not on low-level hardware and software programming. The development framework is implemented based on a derivation of another framework recognized in the field of development of JavaScript that is Sails.JS [4]. The middleware uses the MQTT communication protocol in order to establish the communication among the sensor nodes. Fig. 2 depicts the Development Framework components.

Implementation of the framework

In this section, we describe the components of the framework. In Fig. 3 we show the abstraction layers for our WSA development framework. In the following, we describe the main components of the framework.

Fig. 2
Development framework architecture



Hardware layer

It is also known as the physical layer. In this layer are the devices that can support the server-side framework. The hardware tested are: Raspberry Pi, BeagleBone, and MacPro.

Cloud layer

The framework has the ability to work on both local and cloud hardware. The latter enables communication and development of WSN applications in an agile and more secure way. The functional tests were performed with the Heroku platform (<https://www.heroku.com/>), obtaining adequate results.

Communication layer

This layer is the one that allows the communication between the framework and the WSN. The MQTT protocol is used for this purpose. In the case of the framework, the open source software Mosquitto was implemented, based on the MQTT protocol [5], as shown in Fig. 4.

Fig. 3
Framework architecture

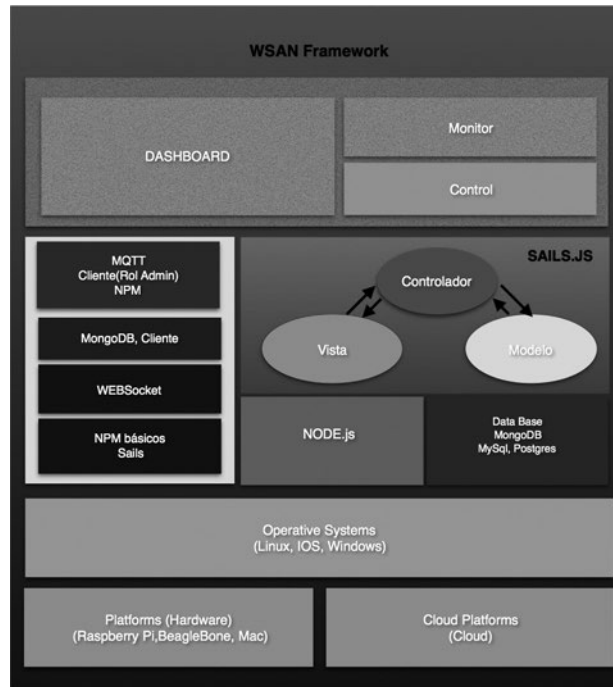
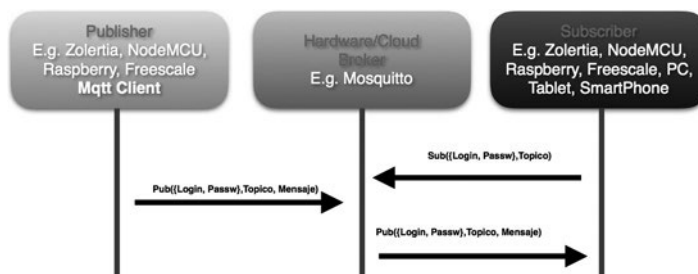


Fig. 4
The MQTT protocol, based on [5]



Operative system Layer

This layer defines on which operating system can be implemented the server - side framework or the backend. The operating systems tested in this framework are: Linux, IOS and Windows. In addition, it requires a series of tools compatible with the MQTT protocol.

Node.JS layer

It is an open source tool for executing applications made in Java Script on the server side. In [6] it is defined as a JavaScript execution environment built with the Chrome V8 JavaScript engine.

Database layer

The persistence of data is relevant since the amount of data can grow exponentially. Sails.JS has integration to different types of Databases such as NoSQL types such as MongoDB [7] or as query-oriented such as Mysql, Postgres and Oracle. The framework was implemented with the MongoDB Non-Relational Data Base.

Sail.Js layer

Sail is the Model-View-Controller framework (MVC) considered to be one of the most popular for Node.js. Sail was designed to emulate the MVC pattern with support for modern application requirements: data-oriented APIs with a scalable, service-oriented architecture.

Conclusions and future work

This paper describes the implementation of a development framework for WSN applications. The framework was tested in several hardware platforms as Re-Mote from Zolertia, NodeMCU, Raspberry Pi, and Arduino.

Future work is focused on improving the security features of the proposed frameworks. On the other hand, it is expected to use the framework in the implementation of an application that allows us to measure aspects such as scalability and the integrity of the solution as we grow in number of nodes.

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the cooperation of all partners within the Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT) project. The authors would also like to thank all the institutions that supported this work: the Colombian Ministry for the Information and Communications Technology - MinTIC and the Colombian Administrative Department of Science, Technology and Innovation - COLCIENCIAS through the Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas (Project ID: FP44842-502-2015). The authors would also like to thank

Universidad Tecnológica de Bolívar for partial financial support with the project Design and Implementation of an Application Prototype for Predictive Control of Temperature in Logistic Cold Chains (Project ID: FI1607T2004)

References

- [1] Clément, D., Pierre, S., and Cyrille, B. EMMA: “A Resource Oriented Framework for Service Choreography over Wireless Sensor and Actor Networks”. *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. X, no. X. June. 2015
- [2] Cañete, E., Chen, J., Díaz, M., and Llo, L. “A service-oriented approach to facilitate WSN application development”. *Ad Hoc Networks Journal*. vol. 9, no. 3, Pages 430452, May. 2011
- [3] Allseen Alliance. The AllJoyn Core Framework. [Online] Available: <https://allseenalliance.org/framework>, 21 May, 2017
- [4] The Sails Company. Sails.JS. [Online] Available: <https://github.com/balderdashy/sails>, 21 May, 2017
- [5] Valerie Lampkin, Weng Tat Leong, Leonardo Olivera, Sweta Rawat, Nagesh Sub- rahmanyam and Rong Xiang. “Building Smarter Planet Solutions with MQTT and IBM WebSphere MQ Telemetry”. IBM Redbooks. First Edition. 270 pages, Septem- ber 2012.
- [6] Node.JS.v7.10.0Documentation.Retrievedfrom<https://nodejs.org/>,21May2017
- [7] MongoDB Architecture. [Online] Available: <https://www.mongodb.com>,21 may 2017.



El presente libro, titulado *Obras colectivas en Ciencias de la Computación*, surge a partir de las contribuciones realizadas por los autores participantes en la versión número 12 del Congreso Colombiano de Computación, el cual es un encuentro informático organizado anualmente por la Sociedad Colombiana de Computación (SCo2). El congreso es un espacio de difusión y discusión de las temáticas de mayor relevancia en el área de la computación, donde investigadores, profesores y estudiantes nacionales e internacionales discuten y comparten sus experiencias.

El objetivo principal del congreso es el fortalecimiento de la comunidad científica y las redes de investigación. En esta, la duodécima versión del congreso, fueron recibidas 186 contribuciones, de las cuales 56 fueron aceptadas como artículos completos en inglés, 10 como artículos completos en español, 10 como artículos cortos en español, 12 como artículos cortos en inglés y 7 contribuciones fueron aceptadas en modalidad de póster, siendo las 4 últimas modalidades las que hacen parte del compendio de contribuciones de esta obra científica-literaria.



editorialbonaventuriana



@EditBonaventuri



EditorialBonaventuriana



editorialBonaventuriana

www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co

VIGILADA MINEDUCACIÓN