

# **Advances in Artificial Intelligence and its Intelligent Applications**

---

# Research in Computing Science

---

## Series Editorial Board

### Editors-in-Chief:

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

### Associate Editors:

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

### Editorial Coordination:

*María Fernanda Ríos Zacarias*

*Research in Computing Science* es una publicación trimestral, de circulación internacional, editada por el Centro de Investigación en Computación del IPN, para dar a conocer los avances de investigación científica y desarrollo tecnológico de la comunidad científica internacional. **Volumen 77**, octubre 2014. Tiraje: 500 ejemplares. *Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título* No. : 04-2005-121611550100-102, expedido por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. *Certificado de Licitud de Título* No. 12897, *Certificado de licitud de Contenido* No. 10470, expedidos por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores. Queda prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio, sin el permiso expreso del editor, excepto para uso personal o de estudio haciendo cita explícita en la primera página de cada documento. Impreso en la Ciudad de México, en los Talleres Gráficos del IPN – Dirección de Publicaciones, Tres Guerras 27, Centro Histórico, México, D.F. Distribuida por el Centro de Investigación en Computación, Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Esq. Av. Miguel Othón de Mendizábal, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738, México, D.F. Tel. 57 29 60 00, ext. 56571.

**Editor responsable:** *Grigori Sidorov, RFC SIGR651028L69*

*Research in Computing Science* is published by the Center for Computing Research of IPN. **Volume 77**, October 2014. Printing 500. The authors are responsible for the contents of their articles. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior permission of Centre for Computing Research. Printed in Mexico City, in the IPN Graphic Workshop – Publication Office.

---

Volume 77

---

# **Advances in Artificial Intelligence and its Intelligent Applications**

**Crispin Hernández Hernández**  
**Grigori Sidorov**  
**Perfecto Malaquias Quintero Flores (eds.)**



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



Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación  
México 2014

**ISSN: 1870-4069**

---

Copyright © Instituto Politécnico Nacional 2014

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

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

<http://www.ipn.mx>

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

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

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

Indexed in LATINDEX and Periodica / Indexada en LATINDEX y Periódica

Printing: 500 / Tiraje: 500

Printed in Mexico / Impreso en México

## Preface

This volume of the journal “Research in Computing Science” contains selected papers on intelligent and information technologies, which is an interdisciplinary area where several fields converge, such as machine learning, data mining, human computer interaction, computational intelligence, artificial vision, virtual learning environments, data bases, software engineering, Web based systems, mobil computing, systems distributed and parallel, natural language and text processing. The combination and cooperation between these fields has been the key of advance of Information Technologies.

The papers in this volume have been carefully chosen by the Editorial Board based on evaluation by at least two members of the reviewing committee. The main criteria for the selection were originality and technical quality of the papers.

Submission, reviewing, and selection process was supported free of charge by the EasyChair system, [www.EasyChair.org](http://www.EasyChair.org).

This volume contains 15 papers related to various aspects of the development and applications of intelligent and information technologies, organized in the following sections:

- Data bases
- Natural language and text processing
- Machine learning and data mining
- Applications development for mobile devices
- Virtual learning environments
- Artificial vision

This volume is the result of hard work and collaboration of many people. First of all, we thank the authors of the papers included in this volume for their technical excellence, which made possible the high quality of this volume. We also thank the members of the Editorial Board of the volume and the reviewing committee for their hard work on selection of the best papers out of the fifty five submissions we received.

Perfecto Malaquias Quintero Flores  
Crispin Hernández Hernández  
Edmundo Bonilla Huerta  
Federico Ramirez Cruz  
October 2014



## Table of Contents

Page

---

|  |    |
|--|----|
| Motion Prediction of Regions Through the Statistical Temporal Analysis<br>Using an Autoregressive Moving Average (ARMA) Model .....                      | 9  |
| <i>Angel Sanchez Garcia, Homero Vladimir Rios Figueroa,<br/>Maria De Lourdes Velasco Vasquez, Gerardo Contreras Vega,<br/>Antonio Marín Hernández</i>    |    |
| Caracterización fractal de angioresonancia magnética cerebral .....  | 21 |
| <i>Guillermo De La Rosa-Orea, Alfonso Medel-Rojas,<br/>Tomás Morales-Acoltzi, Juan Manuel López-Oglesby,<br/>Manuel González-Pérez</i>                   |    |
| Diseño e implementación de un sistema de Aprendizaje Inteligente<br>y Afectivo para la enseñanza de las matemáticas<br>del segundo año de primaria ..... | 31 |
| <i>Ramón Zatarain Cabada, María Lucía Barrón Estrada,<br/>Francisco González Hernández, Raul Oramas Bustillos</i>  |    |
| Un tutor inteligente, afectivo y configurable para el aprendizaje<br>de números naturales de 3er grado .....   | 45 |
| <i>María Lucía Barrón-Estrada, Ramón Zatarain-Cabada,<br/>Margarita Aranda-Ortega, Hugo Enrique Gómez-Pérez,<br/>José Mejía-Arredondo</i>                |    |
| Ambientes inteligentes en contextos educativos: modelo y arquitectura.....   | 55 |
| <i>José-Guillermo Hernández-Calderón, Edgard Benítez- Guerrero,<br/>Carmen Mezura-Godoy</i>  |    |
| Sistema de apoyo para personal médico utilizando servicios Web<br>para dispositivos móviles Android .....  | 67 |
| <i>Carlos Alberto Veloz Vidal, Viviana Bustos Amador,<br/>Francisco Javier Alvarez Rodriguez, Ricardo Mendoza González</i>                               |    |
| Identificación de las características esenciales para aplicaciones Android<br>de e-health orientadas al monitoreo de la obesidad .....                   | 77 |
| <i>Carlos Alberto Veloz Vidal, Viviana Bustos Amador,<br/>Francisco Javier Alvarez Rodriguez, Ricardo Mendoza González</i>                               |    |
| Sistema de apoyo para la localización de menores de edad desaparecidos<br>utilizando dispositivos móviles.....   | 87 |
| <i>Jorge Fernando Ambros-Antemate,<br/>María Del Pilar Beristain-Colorado, Luis Roberto Conde-Salinas</i>  |    |

|   |     |
|---|-----|
| La tecnología NFC en teléfonos celulares, sus retos y aplicaciones .....  | 97  |
| <i>Alejandra Anaya, Ignacio López</i>   |     |
| Desarrollo de una aplicación Web para predecir la aparición de complicaciones<br>en pacientes con diabetes tipo II .....                    | 109 |
| <i>Sahir Burciaga, Beatriz Alejandra Olivares Zepahua, Giner Alor,<br/>Ana Chávez, Hilarión Muñoz</i>                                       |     |
| Predicting Preferences of Voters from Opinion Polls by Machine Learning<br>and Game Theory .....  | 121 |
| <i>Saúl León Silverio, Darnes Vilariño Ayala, David Pinto,<br/>Mireya Tovar Vidal, Beatriz Beltran</i>                                      |     |
| Un modelo simple para la detección del juicio de implicación textual<br>entre sentencias.....   | 133 |
| <i>Saúl León Silverio, Darnes Vilariño Ayala, David Pinto,<br/>Mireya Tovar Vidal, Beatriz Beltran</i>                                      |     |
| Monitoreo de la estrategia de una casa de empeño<br>utilizando una herramienta de inteligencia de negocios .....                            | 143 |
| <i>Marcelo Mejia, Alejandra Barrera</i>   |     |
| Desarrollo de un sistema de almacenamiento y visualización<br>de series de imágenes tomográficas para el Hospital Regional de Apizaco ..... | 153 |
| <i>Ricardo Ramos, María Guadalupe Medina, José Juan Hernández,<br/>David Ibarra</i>   |     |
| Tecnología Big Data para el Sector Salud del Estado de Guerrero .....   | 167 |
| <i>Elías Marino Escobar Ayona</i>   |     |

# Motion Prediction of Regions Through the Statistical Temporal Analysis Using an AutoRegressive Moving Average (ARMA) Model

Angel Juan Sánchez García<sup>1</sup>, Homero Vladimir Ríos Figueroa<sup>2</sup>, María de Lourdes Velasco Vásquez<sup>1</sup>, Gerardo Contreras Vega<sup>1</sup>, Antonio Marín Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Statistics and Informatics, University of Veracruz, Xalapa, Veracruz, México

<sup>2</sup> Department of Artificial Intelligence, University of Veracruz, Xalapa, Veracruz, México

{angesanchez, hrios, lovelasco, gcontreras, anmarin}@uv.mx

**Abstract.** Currently many applications require tracking moving objects, and that information is used to plan the path of motion or change according to the position of a visual target [1] [2]. Computer vision systems can predict the motion of objects if the movement behavior is analyzed over time, ie, it is possible to find out future values based on previously observed values. In this paper, a proposal to predict motion of segmented regions is presented, through an analysis of a time series using an ARMA model. Two scenarios with different characteristics are presented as test cases. Segmentation of moving objects is done through the clustering of optical flow vectors for similarity, which are obtained by Pyramid Lucas and Kanade algorithm.

**Keywords:** Prediction, motion, optical flow, time series, ARMA.

## 1 Introduction

Computer vision has become a tool that provides us the information for "smart" interaction with the environment without being physically in contact with it [3]. One of the primary tasks of computer vision is to reconstruct, from two-dimensional images, the 3D properties of a scene, such as shape, motion and spatial order of objects. In monocular vision, an important goal is to recover from multiple images over time, the relative motion between an observer and the environment. The structure of the environment obtained is used to generate relative distances between points on a surface in the scene and the observer [4].

Many applications that incorporate computer vision are used to track moving objects. To understand the motion of objects in a series of frames, there are two main tasks: identification and description [5]. Identification is finding the objects of interest in a set of frames from a video stream. The second task would be to describe the movement. With

the analysis of motion over time, we can create a model that allows us to predict, with some confidence, the position in the following frames.

The outcome is the result of the analysis of phenomena or events that occur over time. We propose the application of an ARMA (autoregressive moving average) model to predict, based on the temporary records, the position of moving objects. We use two scenarios as test cases. In the scenario 1 is shown the prediction of vehicle moving from left to right. In the second scenario is shown an arm with a chess board moving randomly.

This paper is organized as follows. In section 2, related work about tracking motion and ARMA models are presented. A brief description of our proposal is shown in section 3. The methodology for the segmentation of moving objects in regions is provided in Section 4. In Section 5 the description of the technique to build a model of motion is explained. In Section 6 the details of the experiments and the results are shown. Finally section 7 draws some conclusions and future work.

## **2 Related Work**

For decades, it has attempted to identify moving objects, track them, and to anticipate their movement. In recent years, optical flow has been used for segmenting moving objects. In [6] the authors show results of an application to segment moving cars from points of interest formed by optical flow vectors obtained by the method of pyramid Lucas-Kanade. Since in this application is only for cars, it only detects moving objects from a priori information on the object type. Moving objects are detected from the image regions with nonzero optical flow vectors and grouped according to the moving speed and Euclidean distance. The segmentation of the detected objects is performed using a priori information of the same shape, so that segmentation is carried into rectangles of similar size. Once defined the regions that are in motion in the image sequence, we could predict the motion of regions in consecutive frames.

A common technique for tracking and motion prediction is the Kalman Filter. This method has been used in several areas when it is looking to describe the motion of objects and that somehow it could be found or measured the position of these. In [7] the Kalman filter was used to generate a model that it could predict the movement of regions. This model has two phases: prediction and adjustment. In this last phase, the parameters of the model are adjusted depending on the error caused in the prediction phase. However, other approaches have been used to predict the motion in sequences of images.

In [8] is proposed a model for the interframe correspondences existing between pixels of an image sequence. These correspondences form the elements of a field called the motion field. In their model, spatial neighborhoods of motion elements are related based on a generalization of autoregressive (AR) modeling of time-series. Also in [9] a framework for predicting future positions and orientation of moving obstacles in a time-varying environment using autoregressive model (AR) is described. The AR model has been used in other fields, because it has a low complexity of computation [10], for example in the mo-

tion of vehicles [10][11], or in the medical field to predict the evolution of a tumor [12][13]. Even the AR model can be used to modify the model performed in Kalman filter [14]. However, using AR model does not involve to get parameters of the trend in a time series. On the other hand, In [15] an aggregation approach is proposed for traffic flow prediction that is based on the moving average (MA), exponential smoothing (ES), autoregressive MA (ARIMA), and neural network (NN) models. However the aggregation approach assembles information only from relevant time series of the traffic flow volume that it is collected 24 h/day over several years.

### **3 Our Proposal**

Because we can know the position of the region (object) in time, it is possible to predict the next position from these records. A time series is a set of chronological observations of a phenomenon that it is occurring in a defined time period. So, we want a model that incorporates the previous records of that phenomenon and it could be satisfied with an Auto Regressive model (AR), but also the model must involve trend and periodicity (if these elements are present in the behavior) and we can use a Moving Average model (MA). So we propose using a combined model with both elements (ARMA) to predict the motion of segmented regions by optical flow.

### **4 Segmentation**

The ability to detect motion is crucial for vision and guided behavior by the sense of sight [16]. So, if we want to identify objects that are moving, we need to have at least two images. This is because it is necessary to know if there was any change in the intensity of the pixels between the two images, allowing us to identify a motion. Object tracking systems require accurate segmentation of the objects from the background for effective tracking [17]. To identify object that have moved from one scene to another, the optical flow is often used.

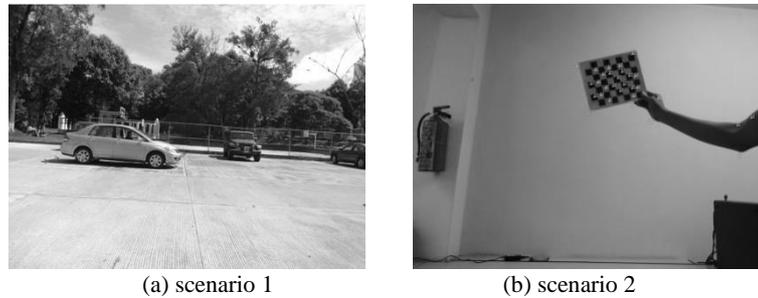
For the identification and segmentation of moving objects in regions, it is used the methodology proposed in [18], which consists in to select the points of interest in the image where the optical flow can be reliable. Harris called to these points of interest corners [19] and they are obtained by the method of Shi and Tomassi [20], where the eigenvalues  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  are calculated from the autocorrelation matrix of each pixel, and we can obtain one of three possible cases:

1. If  $\lambda_1 \approx 0$  and  $\lambda_2 \approx 0$ , then the pixel does not have relevant information.
2. If  $\lambda_1 \approx 0$  and  $\lambda_2$  has a large positive value, then it is an edge.
3. If  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  are large positive values, then the pixel is a corner.

If the minimum eigenvalue exceeds a threshold  $\alpha$ , then the corner has a reliable value to be identified and it is a good point to track. Later the optical flow is calculated by the method of Lucas and Kanade [21] only at points of interest. In the figure 1 are shown examples of the optical flow vectors in both scenarios.

After obtaining the optical flow vectors, they are grouped by similarity. To create each region that define each object, it is necessary to group the optical flow vectors based on 3 criteria: proximity, direction and magnitude.

Then, for each group of vectors, their convex hull is obtained to address the problem of discontinuity of optical flow regions and segment the region [18]. The points used to generate the convex hull of each region are the starting points of the vectors belonging to the region.



**Fig. 1.** Optical flow vectors from Lucas and Kanade Method.

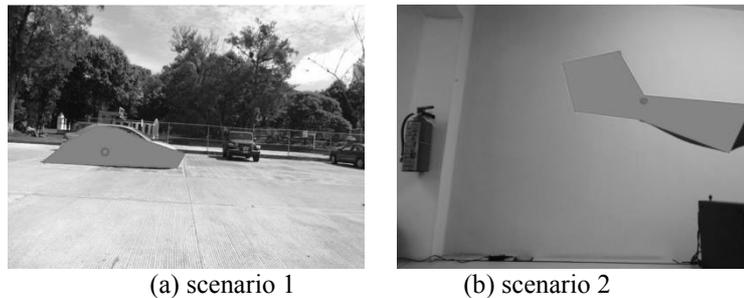
We can represent the condition to determine whether two points belong to the convex hull from the set of points  $S$ . Two points  $\mathbf{P}(x_1, y_1)$  and  $\mathbf{Q}(x_2, y_2)$  belong to the set of the convex hull  $C$  if and only if all points  $\mathbf{R}(x_3, y_3)$  belonging to  $S$  (except  $\mathbf{P}$  and  $\mathbf{Q}$ ) when they are evaluated in the equation of the line through the points  $\mathbf{P}$  and  $\mathbf{Q}$ , are on one side of the line (the sign must have a single value for every point  $\mathbf{R}$ , either positive or negative). In other words, Equation 1 is satisfied or Equation 2 is satisfied, but not both.

$$\mathbf{P}(x_1, y_1) \in C \wedge \mathbf{Q}(x_2, y_2) \in C \leftrightarrow \forall \mathbf{R}(x_3, y_3) \in S \mid (y_2 - y_1)x_3 - (x_2 - x_1)y_3 < (y_2 - y_1)x_1 - (x_2 - x_1)y_1, \mathbf{P} \neq \mathbf{Q} \neq \mathbf{R}. \quad (1)$$

$$\mathbf{P}(x_1, y_1) \in C \wedge \mathbf{Q}(x_2, y_2) \in C \leftrightarrow \forall \mathbf{R}(x_3, y_3) \in S \mid (y_2 - y_1)x_3 - (x_2 - x_1)y_3 > (y_2 - y_1)x_1 - (x_2 - x_1)y_1, \mathbf{P} \neq \mathbf{Q} \neq \mathbf{R}. \quad (2)$$

Since the phase of segmentation, a polygon is obtained, and the polygon could change in shape and size of a pair of frames to others due various factors, so it is necessary to interact with a representative point of the polygon in the modeling process. Therefore, the

centroid of each polygon is taken as reference. Figure 2 shows examples of the segmentation procedure for each scenario and their centroids.



**Fig. 2.** Segmentation of moving objects.

## 5 ARMA Model

Time series forecasting is the use of a model to predict future values based on previously observed values. ARMA is a probabilistic model which assumes that errors have a normal distribution with mean zero and variance  $\sigma^2$ . This assumption is called *White Noise*. Also, this assumes that there is no autocorrelation in the errors. The expression used to represent this assumption is shown in (3):

$$\varepsilon_t = N(0, \sigma^2) . \quad (3)$$

### 5.1 Autoregressive Model (AR)

The autoregressive (AR) model [22] [23] specifies that the output variable depends linearly on its own previous values. Its set-up is based on using data observed in the past to develop the AR model coefficients. Once the model is established, future realizations can be predicted by present occurrences [24]. The autoregressive model of order  $p$ , is expressed by (4):

$$X_t = c + \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \dots + \varphi_p X_{t-p} + \varepsilon_t . \quad (4)$$

Where  $\varepsilon_t$  errors satisfy a white noise sequence and  $p$  is the number of autoregressive parameters.

## 5.2 Moving Average (MA)

Moving Average is one of widely known technical indicator used to predict the future data in time series analysis [25]. MA is a common average of the previous  $n$  data points in time series data. Each point in the time series data is equally weighted. The moving average process of order  $q$ , is expressed by (5):

$$X_t = c + \Phi_1 X_{t-1} + \Phi_2 X_{t-2} + \dots + \Phi_q X_{t-q} + \varepsilon_t . \quad (5)$$

Where  $\varepsilon_t$  errors satisfy a white noise sequence and  $q$  is the number of moving average parameters. This kind of model is crucial, because it helps us to engage the trend and periodicity in the time series to the model, if these elements are presented.

The autoregressive and moving average process, denoted as  $ARMA(p; q)$ , is a combination of an autoregressive process of order  $p$  and moving average process of order  $q$ . This combination can be written as it is shown in the equation (6):

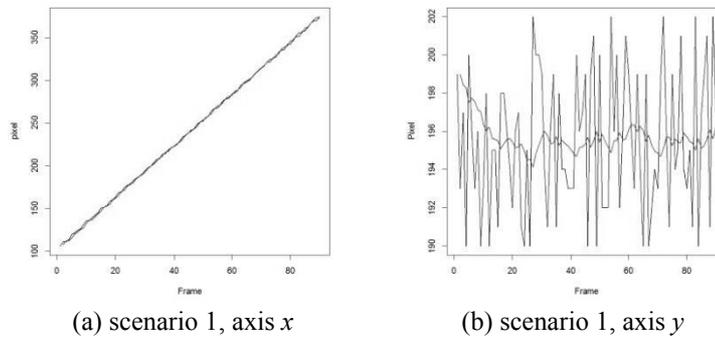
$$X_t = c + \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \dots + \varphi_p X_{t-p} + \varepsilon_t + \Phi_1 X_{t-1} + \Phi_2 X_{t-2} + \dots + \Phi_q X_{t-q} . \quad (6)$$

In the combined models  $ARMA(p, q)$ , we have to select the values of  $p$  and  $q$ . For this, it is necessary to know how to determine the maximum values of  $p$  and  $q$  which are generated and tested in several models. To select the best model we choose the adjusted model with lower values of Akaike information criterion AIC (which is a measure of the relative quality of a statistical model for a given set of data) and  $\sigma^2$ .

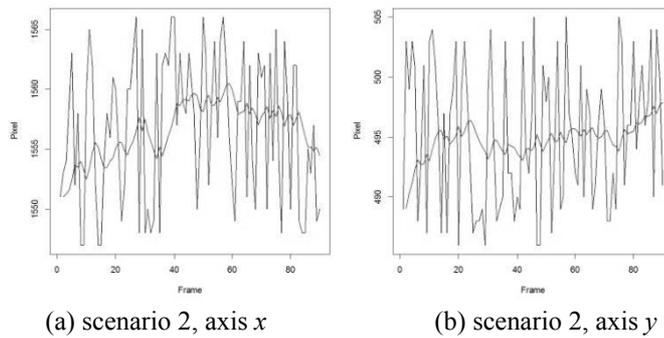
## 6 Experiments and Results

For the experiments, in the scenario 1 were used images of 640 x 480 pixels and in the scenario 2 where used images of 1920 x 1080 pixels. In both cases the images were taken from a video with a frequency of 30 images per second. The value for was  $\lambda = 0.01$  and the results were obtained offline. Although the images were taken in RGB format, the image processing was performed on a single channel, i.e. gray scale.

For each block of frames, two time series are made, one of these is to describe the motion in the axis  $x$ , and another is to describe the axis  $y$ . The time series are smoothed, obtaining the ARMA model. Figure 3 and 4 show examples of adjusted model, where in blue is drawn the original time series and in red color are drawn the fitted values from the ARMA model. As can be appreciate, the fitted values have the similar behavior than the original series, but it eliminates the peaks. In figure 3, can be seen that the time series presents trend in the axis  $x$ , because the motion is from left to right and the value of the pixels in axis  $x$  is increasing.



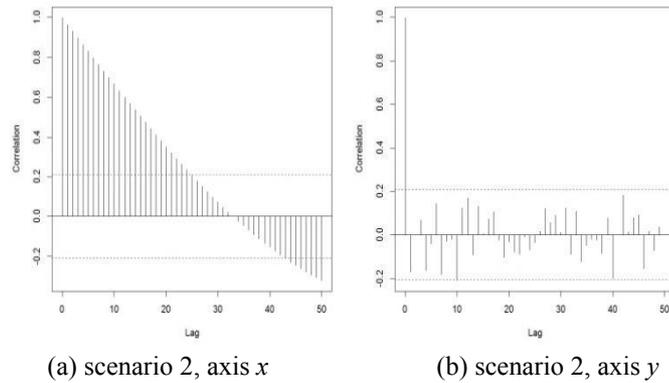
**Fig. 3.** Example of smoothing of the time series for scenario 1.



**Fig. 4.** Example of smoothing of the time series for scenario 2.

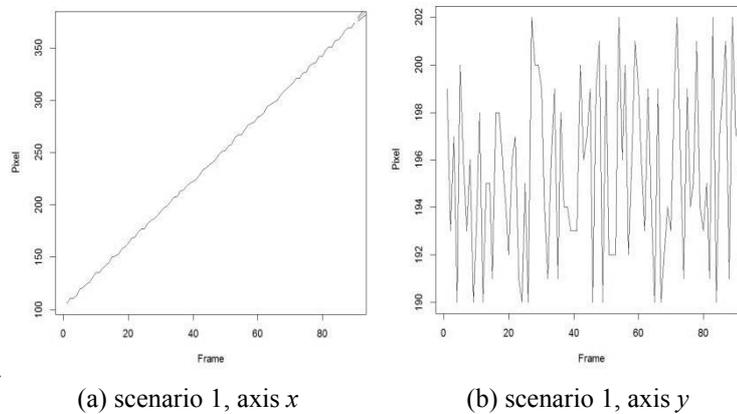
Before using the ARMA model, the time series should be stationary in mean and variance, so they are all tested with the Phillips-Perron test. To find the number of tentative autoregressive parameters, the partial correlogram is calculated and to find the number of moving average parameters, the correlogram of the time series is obtained.

In figure 5 are shown examples of correlograms of scenario 1 with a lag of 50. In figure 5 (a) can be appreciated that there are significant correlations and they rise and fall slowly, which suggests that the time series has trend and we can test models with 24 parameters of moving average (there are 24 significant autocorrelations). Conversely, in figure 5 (b) is drawn the correlations at the same scenario 1 in axis  $y$  and the program can assume that the model does not require moving average parameters because there are not significant autocorrelations.

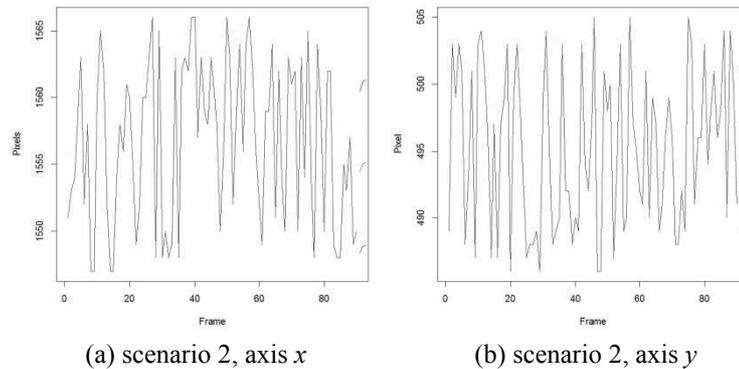


**Fig. 5.** Example of correlogram in the scenario 1.

The number of autoregressive and moving average parameters chosen depends of the model that has a lower value of Akaike in the combination of models. In figure 6 and 7 the predictions are presented. In red color is drawn the outcome, and the black color shows the confidence band of the model.

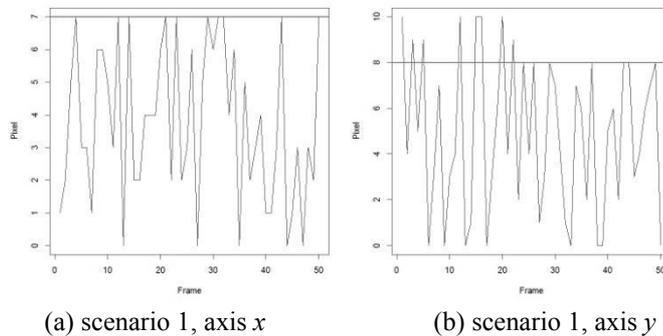


**Fig. 6.** Prediction using ARMA in scenario 1.



**Fig. 7.** Prediction using ARMA in scenario 2.

With this method, the confidence bands presented an average of 7.5 pixels of certain in scenario 1 and 9 pixels in the scenario 2. In figures 8 and 9, are shown the errors in the outcome. The red line represents the average of significant band along 50 frames, and it can be seen that errors are rarely above the allowed limit that mark the confidence bands, and when this happens, the difference is a few pixels.

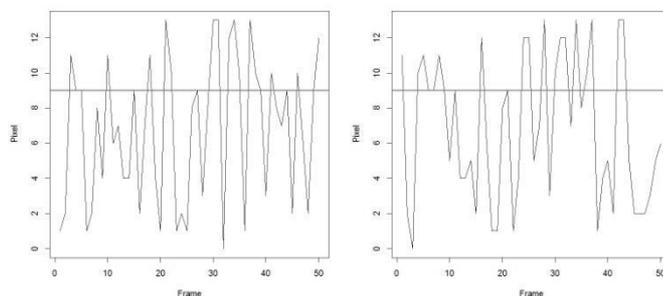


**Fig. 8.** Magnitude of the errors in scenario 1.

## 7 Conclusions and Future Work

A proposal to predict the motion of segmented regions using an ARMA model is presented. The confidence bands present a very narrow confidence compared to the size of the captured images, similar case in the average of errors. With this process, we can involve in the model previously observed values, trend and cycles, therefore, it is possible to predict the movement of the regions (centroids) although the time series have virtually any

behavior. The outcome depends of the segmentation process, but this process does not affect drastically the model, because the statistical analysis of time series gives us a confidence band to mitigate error in segmentation. This error could be caused by factors that influence in the generation of the polygon, as partial occlusion of the object, changes in light intensity or speed. As future work it can be evaluated this kind of probabilistic models with other predictive models as the Kalman filter in the same scenarios, to observe the behavior of both processes.



(a) scenario 2, axis x

(b) scenario 2, axis y

**Fig. 9.** Magnitude of the errors in scenario 2.

## References

1. Baldonado, M., Chang, C.-C.K., Gravano, L., Paepcke, A.: The Stanford Digital Library Metadata Architecture. *Int. J. Digit. Libr.* 1, 108–121 (1997)
2. Bruce, K.B., Cardelli, L., Pierce, B.C.: Comparing Object Encodings. In: Abadi, M., Ito, T. (eds.) *Theoretical Aspects of Computer Software. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1281. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 415–438 (1997)
3. van Leeuwen, J. (ed.): *Computer Science Today. Recent Trends and Developments. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1000. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1995)
4. Michalewicz, Z.: *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. 3rd edn. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1996)
1. Asano, Y. and Kawamura, A.: Decoupled rotational motion control for visual walking stabilization, *IEEE Int. Workshop on Advance Motion Control (AMC 2008)*, pp.68-73 (2008)
2. Kim, J., Park, I. Lee, J. and Oh, J.: Experiments of vision guided walking of humanoid robot, KHR-2, *IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots*, pp.135-140 (2005)
3. Horn, P.: *Robot Vision*, The MIT press, ISBN: 0-262-08159-8, USA (1993)
4. Negahdaripour, S.: A direct Method for locating the Focus of Expansion, *Tecnical Report. A. I. Memo No 939*. (1987)
5. Bradski, B. and Kaebler, A.: *Learning OpenCV. Computer vision with the OpenCV library*, Oreilly, First Edition, (2008)
6. D. Mora, A. Paez and J. Quiroga Deteccion de objetos Moviles en una Escena utilizando Flujo optico, *XIV Simposio de tratamiento de señales, imágenes y vision artificial, STSIVA*, (2009)

7. Sanchez, A., Rios, H., Marin, A. and Acosta, H.: Tracking and Prediction of Motion of Segmented Regions Using the Kalman Filter. CONIELECOMP 2014, At 88 - 93, Volume: IEEE, Proceedings, ISBN:978-1-4799-3468-3 (2014).
8. Rajagopalan, R., Orchard, M. T. and Brandt, R. D.: Motion Field Modeling for Video Sequences, IEEE Transactions on image processing, Vol. 6, No. 11 (1997).
9. Elnagar, A., Gupta, K.: Motion Prediction of Moving Objects Based on Autoregressive Model, Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE, Transactions on Volume: 28, Issue: 6 (1998).
10. Wei, D., Ye, J., Wu, X., Liang, L.: Time Series Prediction for Generalized Heave Displacement of a Shipborne Helicopter Platform, ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management (2008).
11. Jun, L., Sumei, W., Ke, P., Jun, X., Yun, W., Tao, Z.: Research on On-line Measurement and Prediction for Vehicle Motion State, International Conference on Digital Manufacturing and Automation (2010).
12. Ichiji, K., Sakai, M., Homma, N., Takai, Y. and Yoshizawa, M.: Lung Tumor Motion Prediction Based On Multiple Time-Variant Seasonal Autoregressive Model for Tumor Following Radiotherapy, System Integration (SII), IEEE/SICE International Symposium (2010).
13. Ichiji, K., Homma, N., Sakai, M., Takai, Y., Narita, Y., Abe, M., Sugita, N., and Yoshizawa, M.: Respiratory Motion Prediction for Tumor Following Radiotherapy by using Time-variant Seasonal Autoregressive Techniques, 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS (2012).
14. Huang, S. H., Tsao, J., Yang, T. C. and Cheng, S.: Model-Based Signal Subspace Channel Tracking for Correlated Underwater Acoustic Communication Channels, IEEE Journal of oceanic engineering, Vol. 39, No. 2 (2014).
15. Man, T., Wong, S. C., Jian, X. and Zhan, G: An Aggregation Approach to Short-Term Traffic Flow Prediction, Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, Vol.10, Issue: 1, (2009).
16. Albrecht, D. G. and Geisler W. S.: Motion selectivity and the contrast-responds function of simple cells in the visual cortex, Vis Neurosci, pp. 531 - 546 (1991).
17. Denman, S., Fookes, C. and Sridharan, S.: Improved Simultaneous Computation of Motion Detection and Optical Flow for Object Tracking, Digital Image Computing: Techniques and Applications, pp. 175 - 182 (2009).
18. Sanchez, A. and Rios, H.: Segmentación de objetos en movimiento por flujo óptico y color sin información a priori de la escena, Research in computing science, Avances en Inteligencia Artificial, vol. 62, pp. 151 - 160, (2013).
19. Harris, C. and Stephens, M.: A combined corner and edge detector, Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, pp. 147 - 151 (1988)
20. Shi, J. and Tomassi, J.: Good features to track, 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (1994).
21. Lucas, B.D. and T. Kanade.: An iterative image registration technique with an application to stereo vision, Proceedings of the 1981 DARPA Imaging Understanding Workshop, pp. 121-130 (1981).
22. Haykin, S.: Nonlinear Method of Spectral Analysis, Springer-Verlag (1979) 23. Kay, S. M., Marple, S.L.: Spectrum Analysis- a modern perspective, Proc. IEEE, vol. 69, pp 1380 - 1419 (1981).
24. Chen, J., Wu, C.: Wu, K.-L., Litva, J.: Combining an autoregressive (AR) model with the FDTD algorithm for improved computational efficiency, Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International (1993).

*Angel Sanchez Garcia, Homero Vladimir Rios Figueroa, Maria De Lourdes Velasco Vasquez, et al.*

25. Hansun, S.: A New Approach of Moving Average Method in Time Series Analysis, Microwave Symposium Digest, New Media Studies (CoNMedia) (2013)
26. Phillips, P., Perron, P.: Testing for a unit root in time series regression, *biometrika*, vol. 7, 2, pp. 335-346 (1988).

# Caracterización fractal de angioresonancia magnética cerebral

Guillermo De la Rosa-Orea<sup>1</sup>, Alfonso Medel-Rojas<sup>1</sup>, Tomás Morales-Acoltzi<sup>2</sup>, Enrique Martínez Ramírez<sup>1</sup>, Juan Manuel López-Oglesby<sup>1</sup>, Manuel González-Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Interdisciplinario Posgrados, Ingeniería Bio-médica UPAEP, Puebla, México  
gdelarosa7@gmail.com, alfonso.medel.r@gmail.com, e\_martinez\_r@hotmail.com,  
{juanmanuel.lopez, manuel.gonzalez}@upaep.mx

<sup>2</sup>Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México  
acoltzi@atmosfera.unam.mx

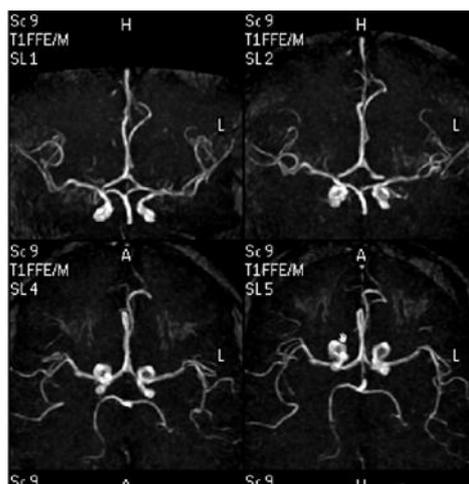
**Resumen.** Aplicamos conceptos de la geometría fractal (**GF**) y procesamiento digital de imágenes (**PDI**) para caracterizar imágenes médicas de angioresonancia magnética cerebral (**ARM**) de pacientes normales y otros que presentan la patología de disminución del calibre arterial, con reducción de la luz interior de arterias. La caracterización de imágenes **ARM** permite obtener conocimiento para desarrollar metodologías alternativas para dotar de inteligencia a herramientas de apoyo al diagnóstico médico. Se efectuó un post-procesamiento a las imágenes de **ARM** y se aplicó el método de “Box-Counting” para obtener su dimensión fractal (**DF**). Se desarrolló con **MATLAB V10** un análisis de la capacidad de ocupar espacio de acuerdo a la **GF**. Los resultados muestran que la metodología implementada, permite identificar la patología de manera no supervisada y en tiempo real, apoyando la clasificación del triage médico del paciente, en forma operacional, solicitando así la intervención inmediata de un experto clínico, para su adecuada canalización.

**Palabras claves.** Angio Resonancia de Cerebro, Geometría Fractal, Box Counting, Dimensión Fractal, Procesamiento de Imágenes.

## 1 Introducción

La angioresonancia magnética o angiografía por resonancia magnética (**ARM**) es una aplicación de la resonancia magnética nuclear (**RMN**) para la visualización de la vasculatura del cuerpo humano. En particular para esta investigación nos enfocamos a la

región cerebral. Las imágenes proporcionadas por el escaneo de un estudio de **ARM** cerebral, incluye, por lo general, cortes en los 3 planos anatómicos, coronal, sagital, y transversal, para que de esta manera se obtenga una visión completa de la circulación arterial cerebral, Figura 1. Algunas de las patologías asociadas a la vasculatura cerebral entre otras, incluyen el aneurisma, que consiste en la dilatación de un vaso sanguíneo, malformaciones arteriovenosas que ocurre en donde no hay lecho capilar y hay paso directo de sangre del lado arterial al lado venoso, otra de las patologías que reportan los médicos radiólogos, es la disminución del calibre arterial, Figura 2, es decir, se reduce la luz interior de las arterias; los vasos sanguíneos estrechos dificultan y, a veces, bloquean el flujo de sangre, y si el flujo de sangre se detiene, los órganos que depende de éste se pueden dañar o morir, también el bloqueo de las arterias del cerebro pueden llevar a un ataque de apoplejía, que causa parálisis contralateral a la región del cerebro en donde está ocurriendo una isquemia cerebral o una hemorragia cerebral [8,9]. Una vez identificada la patología, el paciente debe ser clasificado de acuerdo al triage hospitalario, o bien; el médico tratante define el tratamiento a aplicar [12].



**Fig. 1.** Cuatro cortes de **ARM** cerebral de paciente normal.

Aplicar nuevas metodologías de **PDI** para identificar patologías presentes en las imágenes médicas nos permite avanzar en la tarea del diagnóstico automatizado y así, dotar a las herramientas de apoyo con cierta inteligencia. Las metodologías de post procesamiento actuales han llegado a ser bastante complejas, mejorar su desempeño implica agregarle más complejidad (7) y además, por lo general, en forma operacional, es necesario que dichos algoritmos se apliquen en tiempo real. Para lograr esto, debemos en principio reducir términos o ecuaciones; otra alternativa es buscar enfoques diferentes (4).

La teoría del caos y la **GF**, nos plantean una manera alternativa de análisis, estas nuevas metodologías están dando resultados positivos a muchos de los procesos aparentemente complejos y caóticos presentes en la naturaleza [1], también gracias a la recursividad, han logrado reducir el costo computacional, de hecho, se está dando actualmente una tendencia mundial de aplicar este enfoque no lineal (5).

Los métodos tradicionales de **PDI** para segmentar y detectar bordes incluyen el trabajo con métodos principalmente lineales y que dependen de la derivada, como por ejemplo los métodos de Canny, Sobel, Prewitt y Roberts, Figura. 3. En esta línea el estado del arte ha llegado a explorar métodos bastante complejos y con formulaciones en base a modelación matemática [6]. Sin embargo, los resultados aún no son tan satisfactorios respecto a una utilidad médica confiable. Por lo que en este artículo aplicamos fundamentos de la **GF** a las imágenes médicas de **ARM**, para obtener una caracterización de dichos elementos y extraer información que ayude a generar conocimiento nuevo y útil aplicado en el desarrollo de herramientas de apoyo diagnóstico. La **DF** nos da una medida de esa complejidad y el valor del espacio ocupado de acuerdo a la **TF**.

Las bases de la **GF** se describen en la sección 2. El resto del documento se presenta de la siguiente manera: En la sección 3 se detallan la base de datos y la metodología pertinente. La sección 4 presenta los resultados de la caracterización y finalmente la sección 4 contiene un resumen y las conclusiones.

## 2 Bases de la geometría fractal

La **GF**, se desarrolló a partir de los estudios sobre la complejidad efectuados por Benoit Mandelbrot en las décadas de 1960 y 1970(1). Mandelbrot acuñó el término fractal del latín “fractus” (roto), para de esta manera resaltar la naturaleza fragmentaria e irregular de las formas. Los fractales presentan auto-semejanza, es decir, tienen el mismo aspecto tras ser sometido a un cambio de escala, cada pequeña porción es muy parecida a la estructura total. La auto-semejanza puede ser de dos tipos: exacta y estadística. Cuando se hace una ampliación de cierta región del objeto y ésta presenta una repetición exacta de sus detalles se dice que es auto-semejanza exacta, en cambio si los detalles del objeto no se repiten exactamente, en si lo que se repite en este caso son las propiedades estadísticas de dichos detalles. La mayor parte de las configuraciones de la naturaleza obedecen a la auto-semejanza estadística. Una de las maneras de caracterizar a los fractales es por su dimensión, la **DF**, es un número que expresa su complejidad, no es un número entero, a diferencia de las dimensiones de las figuras geométricas elementales, es un número fraccionario. La **GF** tiene como caso especial a la geometría euclidiana (**GE**). La **GE** nos proporciona las herramientas necesarias para obtener las propiedades y medidas de elementos creados por el hombre tales como puntos, líneas, planos, volúmenes y los conjuntos creados por sus combinaciones, de esta manera se obtienen modelos simplificados del objeto o del proceso en estudio.

Sin embargo, las formas y los procesos de la naturaleza tales como los órganos del cuerpo humano, las nubes, las montañas, los árboles, los vegetales, los diferentes procesos y sistemas como el meteorológico no son fácilmente caracterizados por la **GE**, en cambio la **GF** nos proporciona un modelo conceptual para describir los sistemas y objetos de la naturaleza que presentan esa forma irregular o interrumpida.

La **DF** nos indica y mide ese grado de irregularidad e interrupción, en otras palabras, su capacidad de ocupar espacio que tiene el objeto. Ciertas curvas planas muy irregulares, sin llegar a ocupar las dos dimensiones, sin embargo, quedan descritas por la **DF** que está entre 1 y 2, o bien para ciertas superficies llenas de convoluciones la **DF** es intermedia entre 2 y 3; también sobre la recta se pueden encontrar valores de la **DF** entre 0 y 1. El método más utilizado para calcular la **DF** es conocido como “Box Counting” el cual se describe en la sección 3.

### 3 Datos y metodología

Una imagen de resonancia magnética, **IRM**, o imagen por resonancia magnética nuclear (**NMRI**, por sus siglas en inglés “Nuclear Magnetic Resonance Imaging”) es una técnica no invasiva, sin radiación que utiliza el proceso de la resonancia magnética y la radio frecuencia para obtener información sobre la estructura y composición del interior del cuerpo humano.

Esta información es procesada por computadoras y transformada en imágenes. Éstas son utilizadas, principalmente, para observar alteraciones y anomalías en los diferentes tejidos, lo que permite detectar patologías.

Se obtuvieron imágenes de **ARM**, cerebral, que presentan menor complejidad ya que solamente muestran la vasculatura cerebral. Se seleccionaron imágenes de pacientes normales, Figura 1 y de pacientes que presentan disminución del calibre en las arterias cerebrales, Figura 2. Mediante la **DF** obtenemos la cantidad del espacio que ocupan las arterias, de hecho, lo vemos con un menor radio sobre 2 dimensiones.

El formato original de las imágenes de **ARM** se encuentran en escala de grises, es decir, una gama de tonalidades de gris que van del negro al blanco (0-255). Para calcular la **DF** es necesario, simplificar la imagen, por lo que se lleva a cabo los siguientes pasos: primero, se aplica el método del valor de umbral que nos permite segmentar las arterias del resto de la imagen; segundo, obtenemos las imágenes equivalentes binarias, en donde persisten dos valores, negro y blanco (0,1), Figura 4; y tercero, aplicar el método de Box-Counting y así obtener el valor numérico de la **DF**.

En este caso los píxeles con valor 1 son los que contienen información. En esta investigación se tuvo acceso al mismo número de casos de pacientes sanos y con disminución del calibre arterial, con un total de 72 imágenes.

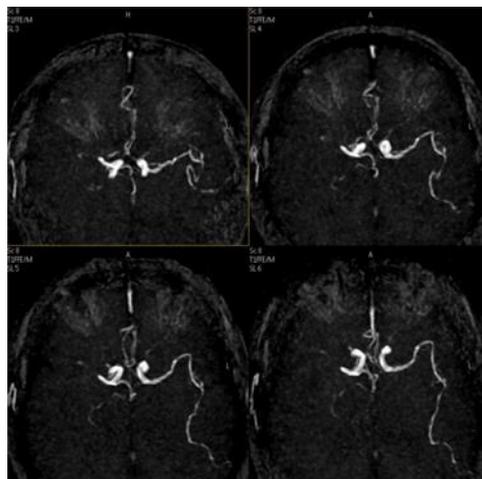


Fig. 2. Cuatro cortes de ARM cerebral de paciente con Disminución del calibre en la arteria cerebral media derecha.

### 3.1 El método del valor umbral

El método de valor de umbral pertenece a los más antiguos métodos del **PDI**. La finalidad de este algoritmo es segmentar imágenes, es decir, separar los objetos de una imagen que nos interesen del resto. En las situaciones más sencillas se puede decidir qué píxeles conforman los objetos que buscamos y qué píxeles son solo el fondo. Este método ha sido utilizado ampliamente en el reconocimiento de patrones (2).

Los métodos de segmentación asignan a cada píxel o voxel a un cierto grupo, llamado comúnmente segmento. La imagen está compuesta por valores numéricos (uno o más valores de color para cada píxel, **RGB**). La pertenencia de un píxel a un cierto segmento se decide mediante la comparación de su nivel de gris con un cierto valor umbral. El nivel de gris de un píxel equivale a su nivel de luminosidad; el resto de la información sobre el color no se tiene en cuenta.

El método del valor umbral binariza la imagen original, es decir, se construyen dos segmentos: el fondo de la imagen y los objetos buscados, las arterias. La asignación de un píxel a uno de los dos segmentos (0 y 1) se consigue comparando su nivel de gris  $g$  con un cierto valor umbral preestablecido  $t$ , “threshold”, generalmente, se considera el valor promedio de tonos de gris, sin embargo en esta investigación las imágenes presentan mayor carga de tonos negros, lo que implica que el valor promedio no funcione, de tal forma que el experto neurólogo, selecciona el tono objetivo, y como la distribución de éste no es homogénea con respecto al patrón de las arterias, queda determinado después de al menos

tres pruebas, intentado conservar el 100% de las estructuras arteriales. El cálculo se realiza mediante:

$$T_{\text{global}}(g) = \{(0 \text{ si } g < t \text{ y } 1 \text{ si } g \geq t)\} \quad (1)$$

Lo que nos indica que cada pixel pertenece, obligatoriamente, a un segmento y solo uno. La calidad de la segmentación depende de la imagen original por analizar.

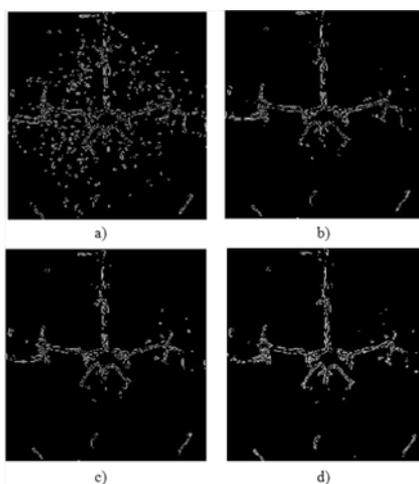


Fig. 3. Métodos tradicionales de segmentación (a) Canny, (b) Sobel, (c) Prewit, (d) Roberts.

### 3.2 El método “Box Counting”

Para el cálculo numérico de la **DF** se emplea el algoritmo conocido como “Box-Counting”, o conteo de cajas, si trabajamos en **3D** o cuadrados en **2D**, en su caso más general se trata con hipercubos. El método también, nos determina si la estructura en la imagen presenta fractalidad y auto semejanza si el resultado es un no entero.

La metodología consiste en trazar una malla sobre la imagen formando cajas cuadradas de tamaño  $r$ , figura 5. Lo que podemos observar es que algunas cajas van a contener arteria y otras van a estar vacías, es decir, cajas de lado  $r$  con  $N(r)$  cajas ocupadas, el siguiente paso es cambiar el tamaño de  $r$ , es decir, hacer el conteo de cajas ocupadas a diferentes escalas. La variación de escala, de un paso al siguiente, es dependiente del tamaño de la imagen y de los múltiplos de ese tamaño.

Se presentan los resultados de las mediciones en una gráfica log-log, Figura 6, en el eje horizontal mostramos el logaritmo del inverso del tamaño de lado de las cajas, puesto que, en principio, el proceso es ad-infinitum disminuyendo la longitud de medida,  $\ln(1/r)$

y en el eje vertical, el logaritmo del número de cajas ocupadas;  $\ln(N(r))$ ; importándonos el comportamiento lineal de la gráfica mostrándonos la existencia de una ley de potencia.



Fig. 4. ARM binarizada.

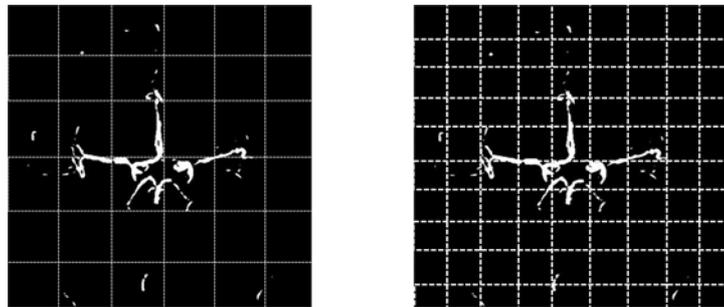


Fig. 5. Rejilla de recubrimiento para el método "box counting".

Los puntos aparecen a lo largo de una recta positiva, y se ajusta a la ecuación general de una línea recta.

$Y = mx + b$ , con  $b$  la ordena al origen,  $m$  la inclinación de la recta,  $x$  la variable independiente e  $y$  la variable dependiente.

$$\ln N(r) = D \ln(1/r) + C \quad (2)$$

Despejando a  $D$ , tenemos:

$$N(r) = C r^{-D} \quad (3)$$

Que es una ley de potencia de exponente  $-D$ , despejando a  $D$  determinamos la dimensión fractal de la estructura en estudio.

$$D = \ln(1/r) / \ln(N(r)) \quad (4)$$

#### 4 Resultados y conclusiones

Uno de los objetivos principales de esta investigación, fue demostrar que la **DF** representa la capacidad de ocupar espacio de las estructuras contenidas en las imágenes de **ARM**, al encontrar valores generalmente no enteros.

La gráfica de barras de la Figura 7, muestra los resultados de los experimentos realizados, como se puede observar las barras de color rojo representan a pacientes con **ARM** normal, en color azul a pacientes con disminución del calibre arterial, con valores en general menores a 1. Está clara diferencia hace que el software pueda discriminar certeramente si la patología está presente o no.

De acuerdo a los resultados, podemos concluir que los valores calculados de la **DF**, nos permitieron caracterizar las imágenes de **ARM**. Se logró desarrollar un sistema en el lenguaje de **MATLAB V10**, para realizar los experimentos numéricos y evaluar los resultados obtenidos desde el punto de vista de la **GF**. El software sugiere, sin ningún otro tipo de apoyo, si la patología está o no en las imágenes.

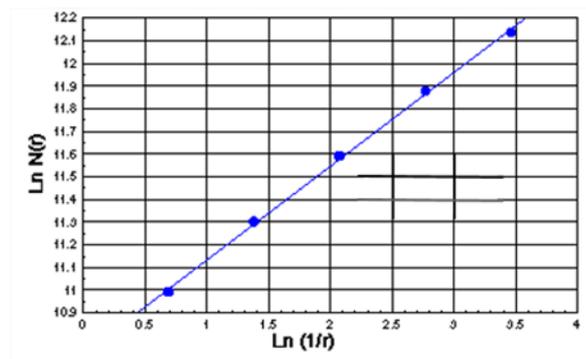


Fig. 6. Gráfica log-log.

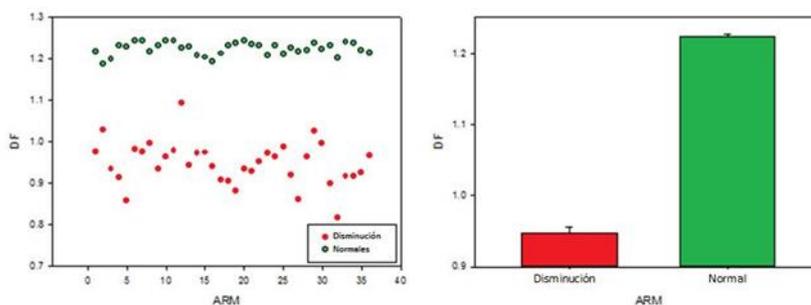


Fig. 7. Resultados, valores DF

El método aplicado en base a la GF nos permitió identificar pacientes con disminución del calibre arterial. Es importante resaltar que la interacción entre el experto neurólogo y el desarrollador del sistema fue de vital importancia, por lo que se abre una nueva área de oportunidad para sistematizar y automatizar el diagnóstico.

## 5 Trabajos futuros

Siguiendo con el enfoque no lineal, una de las tareas futuras, es aplicar los conceptos de la teoría multifractal. Muchas de las formas anatómicas contenidas en las imágenes médicas aparentemente no son auto-semejantes, sin embargo, éstas pueden verse como una mezcla o combinación de diferentes fractales [5].

## Referencias

1. Mandelbrot, B. B.: The Fractal Geometry of Nature, W. H. Freeman and Co., New York, (1982)
2. Rafael C. González, Richard E. Woods.: Digital Image Processing. Addison-Wesley, Reading Mass 1992. ISBN 0-201-50803-6 (1992)
3. Nobuyuki Otsu, A threshold selection method from grey level histograms. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. New York 9, S.62–66. ISSN 1083-4419 (1979)
4. J. A. Tenreiro Machado, and I say to myself: what a fractional world. Fractional calculus & applied analysis (2011)
5. Liebovitch S. Larry, Fractals and Chaos: Simplified for the Life Sciences, OXFORD University Press, pp 268, (1998)

6. Xianghua Xie, Member, IEEE, and Majid Mirmehdi, Senior Member, IEEE: Magnetostatic Active Contour Model. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 30, No. 4, April (2008)
7. Jacques Lévy Véhel: *Introduction to the Multifractal Analysis of Images In Fractal Image Encoding and Analysis* (1998)
8. Torsten B. Moeller, Emil Reif: *Pocket Atlas of Sectional Anatomy CT and MRI, Vol.1 head neck Spine And Joints*, Thieme Stuttgart New York (2000)
9. Anne G. Osborn: *Diagnostic Imaging Brain, Second Edition*, ISBN 0-7216-2905-9, (2004)
10. S. Sukumaran, Dr. M. Punithavalli: *Retina Recognition Based on Fractal Dimension*. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.9 No.10, October (2009)
11. R. Lopes, A. Ayache, N. Makni, P. Puech, A. Villers, S. Mordon and N. Betrouni: *prostate cancer characterization on MR images using fractal features*. 2011 American Association of Physicists in Medicine, (2011)
12. Instituto Mexicano del Seguro Social, <http://www.imss.gob.mx>

# Diseño e implementación de un sistema de aprendizaje inteligente y afectivo para la enseñanza de las matemáticas del segundo año de primaria

Ramón Zatarain Cabada, María Lucía Barrón Estrada, Francisco González Hernández,  
Raúl Oramas Bustillos

Instituto Tecnológico de Culiacán, Juan de Dios Bátiz s/n, Col. Guadalupe, Culiacán Sinaloa,  
80220, México  
{rzatarain, lbarron}@itculiacan.edu.mx

**Resumen.** En este artículo se presenta un sistema de aprendizaje inteligente y afectivo, que se integra en una red social para el aprendizaje de las matemáticas. El sistema está diseñado para ayudar a los estudiantes de segundo grado de educación primaria a mejorar su proceso de aprendizaje. El sistema evalúa aspectos cognitivos y afectivos del estudiante mediante una red neuronal y utiliza un sistema experto difuso para decidir el siguiente ejercicio que deberá resolver el estudiante, lo que posibilita un aprendizaje personalizado.

**Palabras clave:** Sistema Tutor Inteligente, Redes Sociales, Red Neuronal, Sistema Experto, Reconocimiento de Emociones.

## 1 Introducción

Las matemáticas son parte fundamental de la formación básica de los estudiantes en cualquier grado escolar. Los informes publicados sobre el rendimiento en matemáticas por la OCDE[1] y SEP[2] en el 2010 reflejan que existe un alto porcentaje de alumnos con fracaso escolar; en otros estudios, se observa una falta generalizada de conocimientos matemáticos, habilidades cognitivas, ausencia de motivación, interés y afecto[3].

Dentro del campo de la educación, tradicionalmente solo se consideraban los estados cognitivos o pedagógicos del estudiante. En el campo de las ciencias computacionales, hasta hace poco tiempo, los sistemas tutores inteligentes (STI) no consideraban el estado afectivo de un estudiante.

En la actualidad se considera que el estado afectivo o emocional juega un papel importante dentro del proceso enseñanza-aprendizaje de los estudiantes. Conocer el estado emocional de un estudiante, le otorga a un sistema de software basado en cómputo afectivo capacidad de decisión sobre cómo debe responder ante él. El reconocimiento automático de las emociones puede mejorar el desempeño, usabilidad y, en general, la calidad de

interacción hombre-computadora, la productividad del aprendizaje de los estudiantes, y la atención de un sistema a los usuarios [4,5,6].

En este artículo presentamos la implementación de un sistema de aprendizaje inteligente y afectivo para el aprendizaje de las matemáticas de segundo año de primaria que se integra en una red social educativa. El sistema hace uso de una red neuronal para reconocer el estado afectivo del estudiante y un sistema experto difuso que integra datos cognitivos del estudiante (como errores cometidos, tiempo y número de ayudas al resolver un ejercicio) con datos afectivos como su último estado emocional. Esto permite al STI calcular la complejidad del siguiente ejercicio que resolverá el estudiante.

La organización del artículo es la siguiente: en la sección 2, describimos el diseño e implementación del sistema con su arquitectura de capas, componentes y algoritmos. Los resultados y pruebas de la aplicación se muestran en la sección 3 y las conclusiones y trabajos futuros se discuten en la sección 4.

## 2 Diseño e implementación del sistema

La estructura del STI sigue el modelo tradicional de este tipo de sistemas [7], el cual contiene cuatro componentes principales: una interfaz de usuario, representada por la red social de aprendizaje, desde donde se establece la comunicación con los otros tres módulos llamados experto (o dominio), tutor y estudiante.

En un escenario normal del uso del sistema, el estudiante accede al STI a través de la red social e interactúa con una interfaz propia que se encarga de mostrar los temas y ejercicios además de tomar fotografías para reconocer el estado emocional del estudiante.

Se agregan también detalles de la implementación usadas para realizar los componentes diseñados en la arquitectura del sistema. La implementación se realiza sobre una red social de aprendizaje que se encuentra en un ambiente web. La arquitectura de todo el sistema se muestra en la figura 1.

A continuación se describen cada una de las capas así como los componentes que conforman al sistema.

### 2.1 Capa de presentación

La *Capa de Presentación* representa la interfaz gráfica del STI; su tarea es interactuar con el usuario a través de una interface web en una computadora ó dispositivo móvil; en la pantalla se muestran los ejercicios que el usuario debe resolver. Por cada respuesta se obtiene información para mostrar el siguiente ejercicio. Esta capa contiene tres componentes:

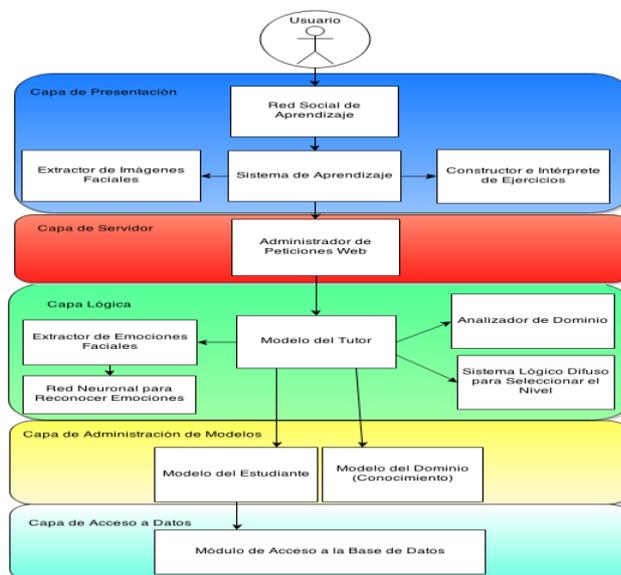


Fig. 1. Arquitectura del STI.

- **Extractor de Imágenes Faciales:** tiene la tarea de extraer una imagen del rostro del usuario cada cierto intervalo de tiempo y regresarla al *Sistema de Aprendizaje*. El formato de la imagen es JPEG y utiliza la API de manejo de cámara de HTML 5 para evitar el uso de complementos de terceros.
- **Sistema de Aprendizaje:** inicia la interacción con el usuario. En él se presenta la interfaz de los ejercicios de matemáticas a resolver (ver figura 2), así como las ayudas e información de la meta que el estudiante debe conseguir. El componente recolecta los datos cognitivos generados por el usuario, así como la imagen obtenida del *Extractor de Imágenes Faciales*. Los datos que se obtienen se envían al componente *Administrador de Peticiones Web* que se encuentra en la capa del servidor. Una vez procesados los datos, el administrador envía la respuesta de regreso y el componente *Sistema de Aprendizaje* utiliza el componente *Constructor e Intérprete de Ejercicios* para generar la nueva representación visual de los datos recibidos. La representación del menú principal del STI (ver figura 2) puede ser una página web de escritorio o móvil. Este componente utiliza tecnologías como jQuery Mobile, HTML 5, CSS 3 y JavaScript.
- **Constructor e Intérprete de Ejercicios:** El componente realiza dos tareas: La primera es interpretar los datos generados por el *Modelo del Tutor*, enviados desde el componente *Administrador de Peticiones Web*. Durante esta interpretación genera los contro-

les que utilizara el *Sistema de Aprendizaje*. Cada ejercicio es interpretado y construido de forma distinta.



Fig. 2. Página web móvil del sistema de aprendizaje.

## 2.2 Capa de servidor

La *Capa de Servidor* se encarga de procesar las peticiones web realizadas por los clientes al servidor y envía una respuesta para que los clientes puedan realizar la interpretación de los datos enviados. La capa se encarga de la parte tecnológica web. Esta capa contiene solo un componente que utiliza tecnologías Java Web por medio de Servlets.

- Administrador de Peticiones Web: este componente construye por medio de los datos enviados desde la capa de presentación los objetos necesarios para el modelo del tutor. También se encarga de tomar la respuesta del tutor y enviarla a los clientes.

## 2.3 Capa lógica

La *Capa Lógica* implementa el procesamiento de la información del sistema. Contiene los componentes que realizan la toma de decisiones sobre los datos del estudiante, dicha información corresponde sus datos cognitivos y afectivos.

En la capa lógica se encuentran la parte de inteligencia artificial, ya que aquí es donde se utilizan los componentes de la red neuronal para la extracción de emociones y el sistema lógico difuso para la elección de niveles en los ejercicios resueltos. Los componentes son:

- **Modelo del Tutor:** es el componente principal de todo el sistema, ya que es el componente que ejecuta el algoritmo principal para la construcción de los ejercicios (ver figura 3) que se enviarán al *Intérprete de Ejercicios*. El componente utiliza la información entregada por los componentes de *Extractor de Emociones Faciales*, *Analizador de Dominio* y *Sistema Lógico Difuso* que se encuentran en la capa.
- **Extractor de Características Faciales:** este componente analiza una imagen y extrae en búsqueda de las características del rostro. Estas características forman un conjunto de 10 coordenadas. Estas coordenadas se envían al componente de la *Red Neuronal para reconocer Emociones* y devolver la clasificación encontrada de dichas características.
- **Red Neuronal para Reconocer Emociones:** este componente utiliza una red neuronal de propagación hacia atrás que fue entrenada con un corpus de emociones faciales que contiene varios conjuntos de 10 coordenadas cada uno. El componente recibe un conjunto de 10 coordenadas enviadas por el *Extractor de Características Faciales*, posteriormente envía dichas coordenadas a la red que está previamente entrenada con un corpus de coordenadas. Finalmente se envía de vuelta la clasificación encontrada por la red para el conjunto de coordenadas provistas.
- **Analizador de Dominio:** tiene la tarea de analizar un dominio enviado por el *Modelo del Tutor*. El componente debe tener el conocimiento de cómo realizar las distintas tareas de los distintos dominios y formatos. El dominio de matemáticas de segundo año de primaria se encuentra en un archivo con formato de XML. Se utiliza XPath para realizar el análisis de este archivo.
- **Sistema Lógico Difuso para Seleccionar el Nivel del Ejercicio:** recibe los datos cognitivos enviados por el *Modelo del Tutor*, donde realiza la evaluación de las distintas reglas difusas. El componente utiliza la API jFuzzyLogic [8]. La API utiliza un archivo de configuración que contiene la definición de las variables de entrada, de salida, el método de defusificación y las reglas difusas.

### 2.3.1 Descripción del algoritmo

La figura 3 presenta el *Modelo del Tutor* con anotaciones que describen el flujo lógico de ejecución para la construcción de los ejercicios que serán enviados al *Constructor e Intérprete de Ejercicios*.

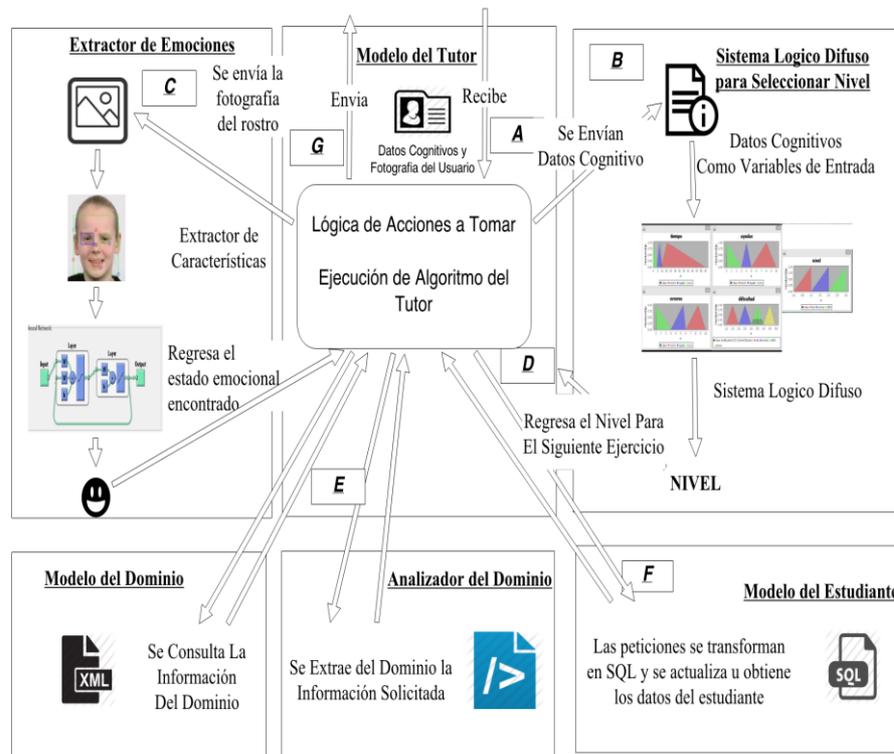


Fig. 3. Modelo del tutor de acuerdo al algoritmo.

El siguiente algoritmo muestra los pasos llevados a cabo por el *Modelo del Tutor* en la toma de decisiones para formar los ejercicios devueltos:

- A. El *Modelo del Tutor* recibe un objeto estudiante, el cual contiene los datos cognitivos, la imagen facial y datos sobre el ejercicio resuelto por el estudiante.
- B. El *Modelo del Tutor* envía los datos cognitivos del ejercicio resuelto al *Sistema Lógico Difuso* quien los recibe como entrada para las variables de entrada difusas y regresa como resultado la variable difusa de salida al *Modelo del Tutor*. Esta variable representa el nivel recomendado para el siguiente ejercicio.
- C. El *Modelo del Tutor* envía la imagen facial del usuario al componente de *Extractor de Características Faciales*. Este utiliza el método Haar-like features Cascades [9] (HLC) el cual crea áreas de imágenes conocidas como regiones de interés (RDI). Posteriormente se vuelve a aplicar dicho método a las RDI detectadas, esta vez para las partes del rostro que

son la boca, ojos y cejas. Para la boca y los ojos se le ubican cuatro coordenadas que son la parte más altas y bajas y las partes más a la izquierda y a la derecha. Para las cejas se realiza el mismo procedimiento pero solo con 3 coordenadas. Después se dibujan líneas entre las distintas coordenadas. Esas líneas representan “distancias”. Por cada distancia se aplica el teorema de Pitágoras entre dos coordenadas y se guarda el resultado de la hipotenusa de los triángulos. Cada una de las distancias son divididas por el ancho del rostro. Esta división normaliza los valores de las distancias entre 0 y 1.

Las distancias se crean y guardan en un nuevo archivo de texto con una letra que representa la emoción y las distancias. Termina la extracción de características del rostro y se repite todo el procedimiento para un rostro nuevo. El archivo de texto es mandado a una red neuronal previamente entrenada. La red evalúa y determina la emoción de acuerdo al archivo de texto y la representa con un valor. Este valor es devuelto al Modelo del Tutor.

- D. El *Modelo del Tutor* empieza a tomar decisiones sobre el siguiente ejercicio que va a construir, considerando los valores de la emoción y del nivel que se obtuvieron en los pasos B y C. La construcción de un ejercicio implica mandar ayudas, datos, metas y recursos relacionados con el ejercicio.
- E. El Modelo del Tutor solicita un dominio en particular al componente de modelo de dominio que se encuentra en la capa de administración de modelos. En este caso pide el dominio de matemáticas del segundo año de primaria. Posteriormente envía dicho modelo al componente Analizador de Dominio junto con los parámetros de lo que necesita realizar u obtener. Posteriormente el analizador de dominio ejecuta dichas instrucciones y devuelve el resultado correspondiente al Modelo del Tutor.
- F. El Modelo del Tutor envía datos al Modelo del Estudiante, para establecer su avance actual con respecto al dominio, su estado emocional y el nivel de dificultad en el que se está manejando respecto a los ejercicios.
- G. El Modelo Tutor finaliza la construcción del siguiente ejercicio y lo transforma a un formato que el intérprete entienda. Este se envía a la capa del servidor que se encarga de hacer llegar el ejercicio a los distintos clientes.

En el paso B se necesita cargar un archivo FCL (Fuzzy Control Language) [10] que contiene toda la información sobre el sistema lógico difuso. Este es un archivo de configuración y en él se encuentra definido 4 variables de entrada, 1 variable de salida y 74 reglas difusas. El método de defusificación utilizado es centro de gravedad y la evaluación de reglas es por restricción de tipo AND.

## 2.4. Capa de administración de modelos

Contiene los componentes que estén relacionados con el *Modelo del Tutor: Modelo del Dominio y del Estudiante*. Estos componentes manejan la administración de sus respectivos modelos y responden a las solicitudes del *Modelo del Tutor*.

- **Modelo del Dominio (Conocimiento):** contiene el conocimiento que el estudiante aspira a aprender y practicar. Este componente tiene la capacidad de ejecutar las consultas que el *Modelo del Tutor* solicite. El dominio de matemáticas de segundo año de primaria se encuentra en un archivo con formato XML. La construcción del *Modelo del Dominio* es a menudo el primer paso para representar el conocimiento del estudiante, los modelos de dominio son representaciones cuantitativas del conocimiento del experto en un dominio específico [1], por lo tanto se busca que la representación del conocimiento del dominio coincida con la estructura mostrada en los libros de segundo año de primaria de la SEP, seleccionando la teoría del espacio del conocimiento [11] para su representación.

La teoría de los espacios de conocimiento utiliza conceptos de teoría combinatoria y probabilidad para modelar y describir empíricamente ámbitos particulares del conocimiento. En términos formales la teoría nos dice que una estructura de conocimiento es un par  $(Q, K)$  en el que  $Q$  es un conjunto no vacío, y  $K$  es una familia de subconjuntos de  $Q$ , que contiene, al menos, una  $Q$  y el conjunto vacío  $\emptyset$ .

El conjunto  $Q$  es llamado el dominio de la estructura del conocimiento. Sus elementos se conocen como preguntas o ítems y los subconjuntos en la familia  $K$  están etiquetados (conocimientos) como estados. Ocasionalmente se puede decir que  $K$  es una estructura del conocimiento sobre un conjunto  $Q$  en el sentido de que  $(Q, K)$  es una estructura de conocimiento. La especificación del dominio se puede negar sin ambigüedad ya que tenemos  $\cup K = Q$ . Por ejemplo, para representar el modelo del conocimiento:

Conocimiento =  $\{\emptyset, \{\text{Bloque 1, Lección 1.1, Lección 1.2}\}, \{\text{Bloque 2, Lección 2.1}\}\}$

- **Modelo del Estudiante:** recibe las peticiones de consulta del *Modelo del Tutor*, y las transforma de acuerdo a la plataforma tecnológica y envía de regreso la información. La representación del conocimiento del estudiante se realiza por medio una red semántica. Múltiples STI (ActiveMath, Wayang Outpost, Guru Tutor) utilizan la red semántica como representación del conocimiento [1]. La ventaja de utilizar una red semántica como *Modelo del Estudiante* es que estas son sencillas de representar e implementar tecnológicamente. La categoría usada fue una Red IS-A [12].

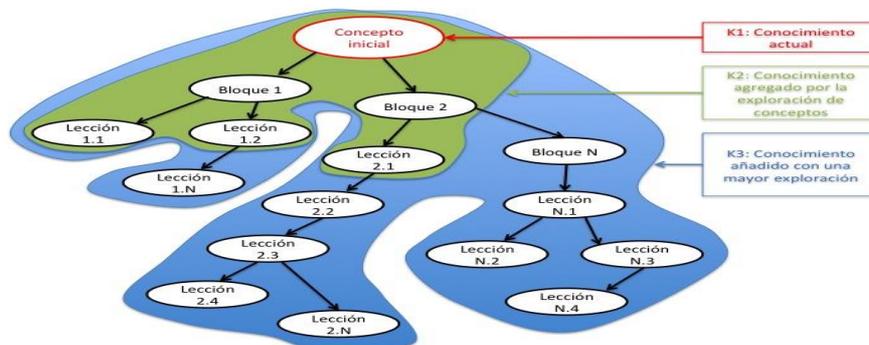


Fig. 4. Diseño de la representación del conocimiento del curso de matemáticas de segundo grado.

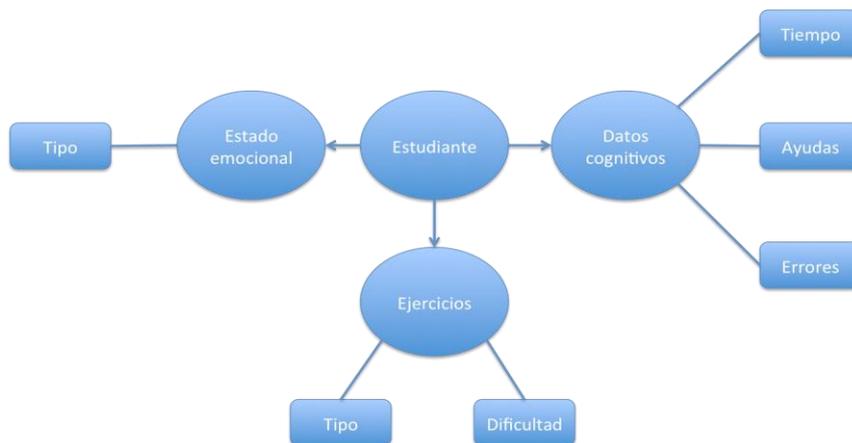


Fig. 5. Representación del conocimiento del estudiante en una red semántica

### 2.5 Capa de acceso a datos

Contiene los componentes que manejan el acceso a fuentes de datos externas como archivos o base de datos. A continuación se detallan los componentes que la conforman:

- Módulo de Acceso a la Base de Datos: el sistema tiene una base de datos relacional que contiene la representación del *Modelo del Estudiante* a nivel físico, mientras el *Modelo del Estudiante* administra las peticiones del *Modelo del Tutor*, el *Módulo de Acceso a la Base de Datos* convertirá las peticiones del modelo del estudiante a peticiones que se ejecuten en el manejador de la base de datos.

### 3 Resultados, evaluación y discusión

Actualmente se ha probado el sistema en forma interna por nuestro grupo de investigación. Los resultados obtenidos muestran que la primera versión del sistema cumple con los objetivos que se establecieron al principio del proyecto. En la figura 6 se muestra una sesión de pruebas del sistema.



**Fig. 6.** Sesión de prueba del sistema de aprendizaje.

Los objetivos del sistema de aprendizaje se diseñaron en base a las características recomendadas para la completitud de un STI [1]. En la tabla 1 se muestra una tabla de características deseadas para un sistema tutor inteligente y se evalúa el avance en cada una de ellas.

**Tabla 1.** Características deseadas en un STI.

| Característica | Descripción   | Avance en STI   |
|----------------|---|---|
| Generalidad    | La capacidad para generar problemas apropiados, consejos, y la ayuda personalizada para las necesidades de aprendizaje de los estudiantes | Los niveles de los ejercicios se seleccionan de acuerdo a la habilidad del estudiante, además las ayudas dadas son tomadas en cuenta de acuerdo al estado emocional del estudiante. |

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| Modelo del Estudiante   | La habilidad para representar y razonar acerca de conocimiento actual del estudiante y sus necesidades de aprendizaje   | Se construye un Modelo del Estudiante a partir de la resolución de ejercicios, estos modelos se utilizará para que el tutor sugiera los tipos de ejercicios que el estudiante deberá practicar mas.  |
| Modelo Experto          | Una representación y la manera de razonar sobre el desempeño experto en el dominio y la capacidad implícita de responder ofreciendo Instrucción               | El tutor tiene la capacidad de modificar el dominio y este sea reflejado automáticamente, se planea complementarlo un modulo el cual el experto modifique el dominio en línea.   |
| Iniciativa Mixta        | La posibilidad de iniciar interacciones con un estudiante, así como para interpretar y responder de manera útil a las interacciones iniciadas por los alumnos | El tutor no tiene la habilidad de iniciar una interacción con el estudiante, solo de comunicarse a través del agente pedagógico, se planea agregar un módulo de procesamiento de lenguaje natural, para que el tutor tenga la capacidad de interactuar con el estudiante.                      |
| Aprendizaje Interactivo | Actividades que requieren un compromiso auténtico aprendizaje de los estudiantes y se contextualiza y dominios adecuado apropiadamente                        | Esta característica se esta trabajando para presentar actividades de mayor interacción hacia el usuario, se planea el uso de API de sitios externos como por ejemplo YouTube (Sistema de administración de videos), como mensajes de diálogos del avatar relacionados al contexto del dominio. |
| Modelo Instruccional    | La capacidad de cambiar el modo de enseñanza basado en inferencias sobre el aprendizaje del estudiante  | Se esta trabajando en la parte de personalizar la enseñanza, por ejemplo el alumno podrá presentar pruebas generales para poder validar el aprendizaje de bloques completos.   |
| Auto-Mejora             | La capacidad de un sistema para monitorear, evaluar y mejorar su propio desempeño en la   | Esta parte no esta contemplada su realización a corto plazo en el desarrollo del STI.  |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | enseñanza basada en su experiencia con antiguos alumnos |  |
|--|---|--|

A continuación en la tabla 2 se evalúa una métrica de 0, 1 y 3. Donde 0 es que la característica se dejó para versiones futuras o no está contemplada. 1 que la característica no está cubierta completamente y 3 cuando la característica se cubrió en su totalidad. Las flechas verdes representan el 3. Las amarillas el 1 y las cruces rojas el 0. Se agregan otros tutores inteligentes evaluados en otros textos [1]. Para realizar una comparación con ellos.

**Tabla 2.** Comparación de distintos STI con el Sistema de Aprendizaje.

| Característica          | Sistema de Aprendizaje Inteligente y Afectivo | ActiveMath | Wayang Outpost | Animal Watch |
|-------------------------|---|------------|----------------|--------------|
| Generalidad             | 3   | 3          | 0              | 0            |
| Modelo del Estudiante   | 3   | 3          | 3              | 3            |
| Modelo Experto          | 3   | 3          | 3              | 3            |
| Iniciativa Mixta        | 1   | 1          | 0              | 0            |
| Aprendizaje interactivo | 1   | 3          | 3              | 3            |
| Modelo Instruccional    | 1   | 1          | 3              | 1            |
| Auto-Mejora             | 0   | 1          | 0              | 1            |
| Total de la Evaluación  | 12  | 15         | 12             | 11           |

De acuerdo al total de evaluación, el sistema de aprendizaje inteligente y afectivo logra una puntuación de 12 puntos, lo que lo deja con la misma puntuación que Wayan Outpost y Arriba de Animal Watch.

#### 4 Conclusiones y trabajo futuro

Actualmente se considera que las emociones juegan un papel importante dentro del proceso de aprendizaje de una persona. En los últimos años, el desarrollo de sistemas tutores inteligentes están incorporando el reconocimiento automático de emociones lo que

permite mejorar el aprendizaje a través de interacciones adaptadas a cada estudiante considerando aspectos cognitivos y afectivos.

El desarrollo del Sistema de Aprendizaje Inteligente presentado en este artículo representa un reto por su complejidad y diversidad de áreas que participan. En relación a las herramientas de software utilizados para la construcción del sistema se utilizaron: HTML 5, para la estructuración del contenido web, CSS3, para la parte de la representación visual del contenido, Java, para programar el STI del lado del servidor, JavaScript (JS), para programar la interfase del lado del cliente, jQuery, plataforma de trabajo que agiliza el uso de JavaScript, jQuery Mobile para las interfases gráficas de la web móvil, Servlets y Java Server Pages (JSP), para la creación dinámica de contenido HTML usando Java, MySQL, como manejador de la base de datos relacional, JavaScript Object Notation (JSON), eXtensible Markup Language (XML) para el intercambio de datos, XML Path Language (XPath), para poder construir expresiones que recorran y procesen archivos XML.

## **Referencias**

1. PISA Country Profiles, de <http://pisacountry.acer.edu.au/>, [Recuperado el 11 de Julio de 2014].
2. Secretaría de Educación Pública. Enlace boletín informativo. [En línea]. Obtenido de [http://enlace.sep.gob.mx/content/gr/docs/2013/historico/00\\_EB\\_2013.pdf](http://enlace.sep.gob.mx/content/gr/docs/2013/historico/00_EB_2013.pdf). [Citado el: 11 de agosto 2014].
3. Díaz Velarde María Eugenia, Villegas Quezada C.: Las matemáticas y el dominio afectivo. *Revista Multidisciplina, Matemáticas e Ingeniería*, Num 16, Sep-Dic, pp. 139-164, (2013)
4. Arroyo, I., Woolf, B., Cooper, D., et al.: Emotions sensors go to school. En *Proceedings 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education*, pp. 17-24, (2009)
5. D’Mello, S.K., Picard, R.W. y Graesser, A. C.: Towards an affective-sensitive AutoTutor. *Special issue on Intelligent Educational Systems IEEE Intelligent Systems*. Vol 22, No. 4, pp 53-61, (2007)
6. Conati C. Y., Maclaren H.: Empirically building and evaluating a probabilistic model of user affect. *User Modeling and User Adapted Interaction*. Vol. 19, No. 3, pp. 267-303, (2009)
7. Woolf, B.P.: *Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. USA: Morgan Kauffman Publishers/Elsevier, (2009).
8. FuzzyLogic, <http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/index.html> , [último acceso 30 junio, 2014]
9. Gary B., Kaehler. A.: *Learning computer Vision with OpenCV library*; Oreally, (2008)
10. Cingolani, P., and Alcalá J.: jFuzzyLogic: a Java Library to Design Fuzzy Logic Controllers According to the Standard for Fuzzy Control Programming, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 6, no. sup1, pp. 61–75, (2013)

11. Doignon, J. -P. and Falmagne, J. C.: Knowledge Spaces. Springer-Verlag (1999)
12. Brachman, R. J.: What IS-A Is and Isn't: An analysis of Taxonomic Links in Semantic Networks, IEEE Computer, Vol. 16, No. 10: 30-36, (1983)

# Un tutor inteligente, afectivo y configurable para el aprendizaje de números naturales de 3er grado

María Lucia. Barrón-Estrada, Ramón Zatarain-Cabada, Margarita Aranda-Ortega,  
H.E. Gómez-Pérez, José Mejía-Arredondo  
Instituto Tecnológico de Culiacán, Juan de Dios Bátiz 310 pte., Col. Guadalupe,  
Culiacán Sinaloa, CP 80220, México

{rzatarain, lbarron, maranda, hgomez, jmejia}@itculiacan.edu.mx

**Resumen.** Este artículo presenta el diseño e implementación de un Sistema Tutor Inteligente (STI) capaz de ser configurado por diferentes expertos en áreas consideradas importantes para un STI. Se incorporan las características necesarias para que sean los expertos los que provean las herramientas necesarias para dotar al STI con la capacidad que requiere, para lograr un mayor impacto en el aprendizaje de los números naturales de los niños de 3er grado de primaria. Al STI le pueden ser modificados los conjuntos y reglas difusas, el componente de reconocimiento de afecto, el examen diagnóstico y el reconocimiento de estilo de aprendizaje. Esto le permite al STI cambiar conforme requiera el entorno.

**Palabras clave:** computación afectiva, sistemas tutores inteligentes, redes neuronales, sistemas difusos, configuración externa.

## 1 Introducción

La utilidad del estudio de las emociones en diferentes áreas se ha visto incrementada debido al impacto que estas tienen en el desempeño de nuestras actividades [6,7]. En los últimos años los STI han incorporado la habilidad para reconocer el estado afectivo de los estudiantes y, con ello, ser capaces de cambiar la manera de interactuar a partir de esta entrada [1-5]. La detección de emociones en los usuarios de los STI en muchos trabajos se realiza utilizando sensores especiales como sillas de postura o brazaletes conductivos [8]. Los cuales resultan intrusivos y molestos para los usuarios. Esto ya ha sido atacado anteriormente mediante aproximaciones que incluyen la detección de emociones dentro del tutor [9].

En el presente trabajo se busca integrar dentro del tutor diferentes aspectos como son el estado emocional y el estilo de aprendizaje del estudiante, además de su nivel de conocimiento sobre los números naturales. Esto se logra mediante el uso de una red de Kohonen en un servidor dedicado fuera del entorno del STI para el reconocimiento de

emociones, se manejan reglas y conjuntos difusos para detectar el nivel del estudiante en base a la resolución de los ejercicios y un examen especializado para el reconocimiento del estilo de aprendizaje [12].

Un STI es tan inteligente como el conocimiento introducido por sus expertos, por lo que al implementar una plataforma que sea capaz de ser utilizada por múltiples especialistas, obtendrá experiencia que le permitirá igualar e incluso superar a cualquier otro STI. Es por ello que mostramos resultados haciendo comparación con diversos tutores [15-21] que son considerados los mejores en sus respectivas áreas.

El artículo está dividido de la siguiente manera: la sección 2, *Configuración del STI* explica como la capacidad de configuración por distintos expertos, aporta una característica fundamental para la personalización de los entornos en que pueda ser utilizado el STI. La sección 3, *Dominio del STI* describe el subconjunto de lecciones que se utilizaron del libro de matemáticas de tercer grado de primaria [23]. La sección 4, *Arquitectura del STI* muestra la estructura y relación de los componentes más importantes del tutor, haciendo énfasis en los componentes que manejan la parte de inteligencia artificial. La sección 5, *Pruebas y Evaluación del STI* considera diversos aspectos que fueron seleccionados para realizar la comparación con múltiples STI. Por último las *Conclusiones* expresan los resultados obtenidos.

## 2 Configuración del STI

Una característica que distingue al STI es su capacidad para que un experto pueda configurar cualquier tema de un dominio en específico. En el caso de las pruebas de diagnóstico o ejercicios, el maestro es capaz de introducir y cambiar las lecciones que el considere son las mejores para sus estudiantes.

Lo mismo aplica para el componente neurodifuso, un experto computacional puede acceder a una API para ingresar o modificar las reglas y conjuntos difusos, de tal manera que cuando un estudiante cometa un error o genere un acierto, esta acción refleje la clasificación que tiene el STI sobre el conocimiento actual de este.

De la misma forma, el examen de estilo de aprendizaje puede ser cambiado por un psicólogo u otro profesional competente, para determinar de qué manera aprende mejor el estudiante y que el STI obtenga mayor información para personalizar la enseñanza con el fin de mejorar el conocimiento del estudiante.

El STI utiliza un componente afectivo para procesar imágenes recolectadas mientras que el estudiante se encuentra respondiendo ejercicios. Esta API extensible fue concebida con el propósito de proveer al STI con una herramienta para cambiar la manera en la que trabaja el reconocimiento de afecto.

Esta capacidad de configuración es implementada por el formato JSON, el cual es avalado internacionalmente como estándar en la transferencia de información web. La

estructura que debe llevar, puede ser generada por muchas herramientas en línea, facilitándole al experto su uso.

### 3 Dominio del STI

El libro de texto gratuito de la SEP, Matemáticas 3er. Grado, contiene 17 temas, como se muestra en la Fig. 1, los cuales se abordan en diferentes lecciones a lo largo del libro.

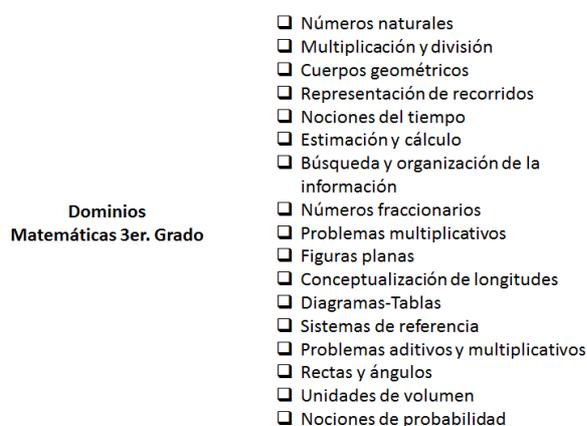


Fig. 1. Dominios dentro del Libro de Texto Gratuito de la SEP. Matemáticas 3er. Grado.

El libro se encuentra organizado con una estructura jerárquica que cuenta con lo siguiente:

- ✓ **Bloques.** Contiene cinco bloques de conocimiento, organizados secuencialmente como *Bloque<sub>1</sub>...Bloque<sub>5</sub>*.
- ✓ **Aprendizajes esperados.** Cada bloque establece una serie de objetivos (*Objetivo<sub>1</sub>...Objetivo<sub>n</sub>*) que deben cumplirse para lograr los aprendizajes esperados.
- ✓ **Lecciones.** Cada lección define un apartado llamado *Lo que conoce el estudiante* que es un diagnóstico previo a cada lección y una serie de actividades (*Actividad<sub>1</sub>...Actividad<sub>n</sub>*), que describen lo que el estudiante debe realizar. Las actividades a su vez, sugieren otras acciones como son: *Consultas a otras fuentes*, las *Actividades reto* y *Datos interesantes* relacionadas con la actividad.

- ✓ **Integración de lo aprendido.** Se presenta una serie de problemas ( $Problema_1 \dots Problema_n$ ), relacionados con la lección de estudio para que el estudiante pueda aplicar su aprendizaje resolviendo problemas.
- ✓ **Evaluación.** Contiene una serie de ejercicios correspondientes a la lección presentada, para evaluar con ellos, sí el estudiante ha alcanzado los objetivos.
- ✓ **Autoevaluación.** Esta sección se incluye para que el estudiante pueda evaluarse a sí mismo de forma Procedural y Actitudinal al final de cada lección.

Para el diseño del Sistema Tutor Inteligente (STI) se definió el dominio de los Números Naturales. En el libro de Matemáticas de tercer grado, este tema se encuentra distribuido en varios Bloques, que contienen diferentes lecciones que definen los objetivos que el estudiante debe cumplir al momento de la evaluación procedural. En la

Tabla 1, se presentan los bloques, las lecciones, los objetivos y las habilidades por adquirir correspondientes al dominio de los Números Naturales.

Tabla 1. Objetivos dentro del dominio de los números naturales.

| Bloque | Lección | Objetivos a cumplir  | Habilidades por adquirir del estudiante  |
|--------|---------|--|--|
| 1      | 1       | Compara y ordena números de cuatro cifras.   | Aprende a agrupar los elementos de una colección en unidades, decenas, centenas y unidades de millar.      |
| 1      | 2       | Compara y ordena números de cuatro cifras.   | Cuenta los elementos de una colección para compararlos con otra.   |
| 1      | 3       | Utiliza el cálculo mental al restar dígitos y múltiplos de 10 menos un dígito.                               | Identifica regularidades en la sucesión numérica.  |
| 1      | 4       | Obtiene de manera rápida los productos de dígitos para resolver problemas u operaciones.                     | Desarrolla la habilidad de realizar mentalmente restas con números del 1 al 10.                            |
| 2      | 14      | Identifica y Compara números escritos como expresiones aditivas y multiplicativas.                           | Compara y opera con descomposiciones aditivas y multiplicativas.   |
| 2      | 15      | Identifica y Compara números escritos como expresiones aditivas y multiplicativas.                           | Relaciona escrituras aritméticas y nombres de números.   |
| 2      | 18      | Utiliza caminos cortos para multiplicar dígitos por 10, por 100 y por sus múltiplos (20,30,200, 300, etc.)   | Utiliza una forma práctica para multiplicar un número por 10, por 20, por 30, por 100, por 200.            |
| 3      | 27      | Utiliza el algoritmo para multiplicar números de tres cifras por un dígito.                                  | Estima el resultado de un cálculo de suma o resta.   |
| 3      | 28      | Resuelve problemas que impliquen dividir mediante diverso procedimientos.                                    | Identifica el recurso más adecuado para realizar un cálculo: calculadora, cálculo mental, cálculo escrito. |
| 5      | 47      | Anticipa lo que pasa con el resultado de la división cuando el dividendo o el divisor aumentan o disminuyen. | Utiliza el repertorio multiplicativo para resolver divisiones.   |

## 4 Arquitectura del sistema tutor inteligente

El sistema tutor inteligente cuenta con una arquitectura de capas relajadas que se puede visualizar en la fFig. 2.

### 4.1 Capa de visualizador web

Es utilizada para la presentación del tutor y es con lo que interactúa el usuario. Esta cuenta con dos componentes: **Interface**: es la interfaz del tutor y está hecho con HTML5, CSS3 y JAVASCRIPT, **Login**: Provee la comunicación para ingresar al tutor por medio de Facebook actualmente, pero se planea acrecentarlo a google+ y twitter.

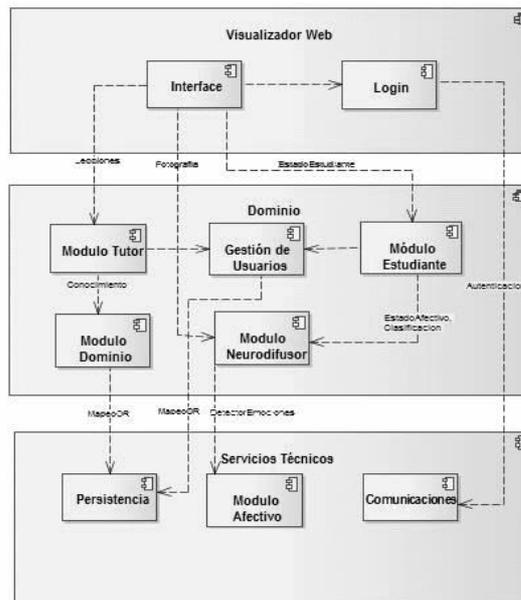


Fig. 2. Arquitectura del sistema tutor inteligente.

## **4.2 Capa de dominio**

La capa de dominio implementa todo lo relacionado con la lógica del tutor, inteligencia artificial y pase de la información hacia el almacenamiento, todo en esta capa está implementado en PHP y consta de cinco componentes.

### **4.2.1 Módulo tutor**

Codifica los métodos de enseñanza que sean adecuados para el área de estudio y el alumno. Basado en los datos de las debilidades y fortalezas, nivel de conocimiento, y estilo de aprendizaje, el instructor selecciona el modelo de intervención de enseñanza más apropiado. Por ejemplo, si un estudiante ha sido evaluado como principiante en un determinado ejercicio, el módulo muestra algunos ejemplos paso a paso del procedimiento antes de invitar al usuario a realizarlo el mismo. También puede proporcionar retroalimentación, explicaciones y el entrenamiento a medida que el participante realiza el proceso. Conforme el estudiante gana experiencia, el módulo puede decidir presentar los escenarios cada vez más complejos. También puede decidir tomar el asiento de atrás y dejar que la persona explore libremente los ejercicios, intervenir con las explicaciones y el entrenamiento sólo bajo petición. Además, el módulo se encarga de poder elegir temas y ejemplos que subsanen las deficiencias de competencia del usuario.

### **4.2.2 Módulo dominio**

Contiene una representación computacional de un experto en el área de Números Naturales. Este conocimiento permite al STI comparar las acciones del estudiante y las selecciones con las de un experto a fin de evaluar lo que el usuario conoce y lo que necesita aprender. Una variedad de técnicas de Inteligencia Artificial se utilizan para la captura, de cómo un problema puede ser resuelto. Por ejemplo, se capta el conocimiento del estudiante a base de reglas que permite que el STI genere problemas sobre la marcha. Además permite que el desarrollador del curso pueda crear plantillas, que especifican una secuencia permitida de acciones correctas. Este método evita la codificación de la capacidad de resolver todos los problemas posibles. En cambio, sólo requiere la capacidad de especificar cómo el alumno deberá responder en un escenario.

### **4.2.3 Módulo estudiante**

Evalúa el desempeño de cada alumno para determinar sus conocimientos, habilidades perceptivas y habilidades de razonamiento. Al mantener y hacer referencia a un módulo con el detalle de las fortalezas y las debilidades de los usuarios, el STI puede ofrecer muy específicamente, la instrucción pertinente.

#### 4.2.3.1 Estilos de aprendizaje

Para realizar el manejo de los estilos de aprendizaje se utiliza el test de Felder-Silverman [13], el cual consta de 44 preguntas. El estilo de aprendizaje del estudiante se almacena en su perfil académico y con esta información el STI selecciona las lecciones que presenta al estudiante de tal manera que el estudiante pueda aprender de acuerdo a su estilo de aprendizaje, en este caso solo se maneja la dimensión relativa al tipo de estímulos preferenciales que corresponde a estilo verbal y visual.

#### 4.2.4 Gestión de usuarios

Es el componente que accede la capa de servicios para que la persistencia de la información sea totalmente encapsulada y el acceso se vea comprensible y simple.

#### 4.2.5 Módulo neurodifusor

Contiene a las clases necesarias para la lógica difusa y la conexión hacia el componente afectivo para proporcionarle la información necesaria para que el tutor tome las decisiones correspondientes.

##### Lógica difusa

El STI utiliza la teoría de conjuntos difusos y reglas difusas para calibrar lo vago o ambiguo en las 4 variables difusas que maneja, como son tiempo, emoción, nivel en el ejercicio como variables de entrada y la cuarta es la variable de salida, que se llama nivel de dificultad, la cual será tomada en cuenta para el próximo ejercicio que se le presentará al estudiante.

Un conjunto difuso puede ser definido simplemente como un conjunto con límites difusos.[22]

Visto de otra manera, en la teoría difusa, un conjunto difuso  $A$  de universo  $X$  esta definido por la función  $\mu_A(x)$  llamada función de membresía del conjunto  $A$ .

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$$

donde

$$\mu_A(x) = 1 \text{ si } x \text{ esta totalmente en } A;$$

$$\mu_A(x) = 0 \text{ si } x \text{ no esta en } A;$$

$$0 < \mu_A(x) < 1 \text{ si } x \text{ esta parcialmente en } A.$$

Una regla difusa puede ser definida como un enunciado condicional con variables lingüísticas y valores lingüísticos determinados por los conjuntos difusos en el universo del discurso.

Algunas reglas difusas que se manejan en el sistema son las siguientes:

1. **If** (nivelEnEjercicio is bajo) **and** (tiempoResolviendo is lento) **and** (estadoAfectivo is enganchado) **then** (dificultadEjercicio is baja)
2. **If** (nivelEnEjercicio is regular) **and** (tiempoResolviendo is rapido) **and** (estadoAfectivo is distraido) **then** (dificultadEjercicio is alta)

3. **If** (nivelEnEjercicio is regular) **and** (tiempoResolviendo is lento) **and** (estadoAfectivo is neutral) **then** (dificultadEjercicio is baja)
4. **If** (nivelEnEjercicio is regular) **and** (tiempoResolviendo is regular) **and** (estadoAfectivo is enganchado) **then** (dificultadEjercicio is alta)
5. **If** (nivelEnEjercicio is bueno) **and** (tiempoResolviendo is rapido) **and** (estadoAfectivo is enganchado) **then** (dificultadEjercicio is alta)

### 4.3 Capa servicios técnicos

Contiene todos los servicios de bajo nivel, como lo son base de datos y comunicación entre sistemas y componentes de detección de emociones. Esta capa cuenta con tres componentes que se describen a continuación.

**Persistencia:** Maneja todo lo relacionado con base de datos, debido a que en ninguna otra parte del sistema tutor existen accesos para guardar la información. Este componente provee las interfaces necesarias para el guardado y al ser utilizada una tecnología ORM este puede guardar para distintos proveedores.

**Módulo Afectivo:** Se encarga de procesar las imágenes y devolver la emoción que se detectó hacia la capa superior, proponiendo así una API de fácil acceso.

**Comunicaciones:** Se utiliza para la interacción con otros sistemas, como lo es el log in para Facebook.

## 5 Pruebas y evaluación del STI

El STI aún no ha sido probado con estudiantes ya que hasta este momento se está finalizando la integración de los módulos que lo conforman.

Alternativamente, se decidió realizar una evaluación comparativa con otros sistemas tutores que tienen una finalidad similar y el STI para Tercer Grado de Matemáticas. Ver Tabla 2. Evaluación y comparación de características propias de los STI's con el Sistema Tutor Inteligente Afectivo y Configurable para el aprendizaje de los números naturales en 3er. Grado, de acuerdo a la escala de Likert. En esta se listan diversas características de los sistemas tutores inteligentes y se propone una evaluación usando una escala de Likert con valores de 5 a 1 representando Totalmente de acuerdo hasta totalmente en desacuerdo respectivamente.

Tabla 2. Evaluación y comparación de características propias de los STI's con el Sistema Tutor Inteligente Afectivo y Configurable para el aprendizaje de los números naturales en 3er. Grado, de acuerdo a la escala de Likert.

| Característica del Tutor Inteligente | Descripción de la característica | CTAT | Animal Watch | Active Math | Sistema Tutor Inteligente Afectivo y Configurable |
|--------------------------------------|----------------------------------|------|--------------|-------------|---|
|--------------------------------------|----------------------------------|------|--------------|-------------|---|

|                         |   |   |   |   |   |
|-------------------------|---|---|---|---|---|
| Generatividad           | Capacidad de generar problemas apropiados, pistas y ayuda necesaria, adaptados a las necesidades de aprendizaje del estudiante.                             | 3 | 5 | 4 | 5 |
| Modelo del estudiante   | Capacidad de representar y razonar acerca del conocimiento del estudiante y las necesidades de aprendizaje en respuesta a la proporción de instrucciones.   | 3 | 5 | 4 | 5 |
| Modelo del experto      | Representación y ruta de razonamiento acerca del rendimiento dentro del dominio y la capacidad implícita de respuesta por instrucción proporcionada.        | 5 | 5 | 3 | 5 |
| Iniciativa Mixta        | Capacidad de iniciar la interacción con el estudiante, así como la interpretación y respuesta de manera útil a interacciones iniciadas por los estudiantes. | 5 | 3 | 4 | 4 |
| Aprendizaje interactivo | Actividades de aprendizaje que requieren compromiso y autenticidad contextualizados en el dominio apropiado.  | 5 | 4 | 4 | 5 |
| Modelo instruccional    | Capacidad de cambiar el modo de enseñanza basado en inferencias sobre el aprendizaje del alumno.  | 4 | 4 | 4 | 3 |
| Auto-mejora             | Capacidad del sistema para monitorear, evaluar y mejorar su propia enseñanza basado en su experiencia con otros alumnos.                                    | 3 | 3 | 3 | 3 |

## 6 Conclusiones

Durante el desarrollo se buscó implementar todas las características que requiere un buen STI, estas fueron: reconocimiento afectivo, consideración de estilos de aprendizaje, reacción inteligente hacia las necesidades cognitivas del estudiante y configuración por parte de los expertos.

Se evaluaron las características propuestas con las características implementadas y se concluyó que el potencial de un STI que maneje lo último en tecnologías de configuración, tiene mayor capacidad de influencia en el sector educativo puesto que se puede adaptar a entornos tan variados como son los que hay actualmente en México.

Otra de las aportaciones valiosas en el proyecto fue la implementación del acceso a través de las redes sociales, las cuales son utilizadas día con día por un gran número de estudiantes, lo cual abre un gran nicho para la participación del STI.

En trabajos futuros se pretende aplicar un mayor número de estilos de aprendizaje a las lecciones, agregar otras maneras de reconocer el estado cognitivo del estudiante, para que no solo expertos en lógica difusa puedan modificarlo. Además de mejorar el agente pedagógico, para que sea capaz de ser configurado para responder a las entradas del estudiante por voz. Actualmente se está trabajando en el diseño de un experimento en conjunto con una escuela primaria de la localidad, para probar el funcionamiento y verificar la eficacia de los métodos aplicados en el STI.

## Referencias

- [1] Aleven, V., Koedinger, K.: An effective metacognitive strategy: learning by doing and explaining with a computer-based cognitive tutor. *Cognitive Science*, 26(2), 147-179, (2002).
- [2] Anderson, R., Boyle, C. F., Corbett, A. T., & Lewis, M. W.: Cognitive modeling and intelligent tutoring. *Artificial Intelligence*, 42, 17-49. Doi: 10.1016/0004-3702(90)90093-F, (1990).
- [3] Carbonell, J. R.: AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer-aided-instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine System*, 11(4), 190-202, (1970).
- [4] Clancey, W. J.: Transfer of rule-based expertise through a tutorial dialogue. Ph.D. thesis, Department of Computer Science, Stanford University, (1979).
- [5] Woolf, B. P., *Building intelligent interactive tutors*. Morgan Kaufmann, (2009).
- [6] Ekman, P. Are there basic emotions? *Psychological Review*, 99, 550-553, (1992).
- [7] Mandler, G. Emotion. In B. M. Bly & D. E. Rumelhart (Eds.), *Cognitive science. Handbook of perception and cognition* 2nd ed. (pp. 367-384). San Diego, CA: Academic Press, (1999).
- [8] Arroyo, I., Woolf, B., Cooper, D., Burleson, W., Muldner, K., Christopherson, R.: Emotions sensors go to school. In: *Proceedings of the 14th international conference on artificial intelligence in education (AIED 2009)*, Brighton, UK, pp. 17-24. IOS press, Amsterdam, (2009).
- [9] Zatarain-Cabada, R., Barrón-Estrada, M.L., Beltrán, J.A., Cibrian, F.L., Reyes-García, C., Hernández, Y.: Fermat: merging affective tutoring systems with learning social networks. In: *Proceedings of the 12th IEEE international conference on advanced learning technologies*, Rome, Italy, 337-339. IEEE Computer Society, (2012).
- [10] Doignon, J. -P. and Falmagne, J. C.: *Knowledge Spaces*. Springer-Verlag, (1999).
- [11] Günel, K.: *Intelligent Tutoring Systems: conceptual map modeling*. Lambert Academic Publishing, (2010).
- [12] Felder, R. M., & Solomon, B. A.: *Index of Learning Styles Questionnaire*, <http://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html>, Retrieved October 4, (2013).
- [13] Felder, R. M., & Silverman, L.K.: Learning and teaching styles in engineering education, *Engineering Education*, pp. 674-681, vol. 78, (1988).
- [14] Woolf, BP. *Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*, (2010).
- [15] Beal, CR, Arroyo, I., Cohen, PR, Woolf, BP, & Beal, CR.: Evaluation of AnimalWatch: An intelligent tutoring system for arithmetic and fractions. *Journal of Interactive Online Learning* , 9 (1), 64-77, (2010).
- [16] Beal, C. R., Adams, N. M., & Cohen, P. R. Reading proficiency and mathematics problem solving by high school English Language Learners. *Urban Education*, 45(1), 58-74, (2010).
- [17] Fournier-Viger, P., Nkambou, R., Nguifo, E. M., & Mayers, A.: ITS in ill-defined domains: toward hybrid approaches. In *Intelligent Tutoring Systems*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 318-320, (2010).
- [18] D'Mello, S. K. & Graesser, A. C.: AutoTutor and affective AutoTutor: Learning by talking with cognitively and emotionally intelligent computers that talk back. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 2(4), 23:2-23:39, (2012).
- [19] Olney, A. M., D'Mello, S., Person, N., Cade, W., Hays, P., Williams, C., ... & Graesser, A. (2012, January). Guru: A computer tutor that models expert human tutors. In *Intelligent Tutoring Systems*, Springer Berlin Heidelberg, (pp. 256-261), (2010).
- [20] Aleven, V., McLaren, B. M., Sewall, J., & Koedinger, K. R.: The cognitive tutor authoring tools (CTAT): Preliminary evaluation of efficiency gains. In *Intelligent Tutoring Systems*, Springer Berlin Heidelberg, (pp. 61-70), (2006).
- [21] Melis, E., & Siekmann, J.: Activemath: An intelligent tutoring system for mathematics. In *Artificial Intelligence and Soft Computing-ICAISC 2004*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 91-101, (2004).
- [22] Negnevitsky, M.: *Artificial Intelligence a guide to intelligent systems*. 2ª. Pearson Education, (2005).
- [23] Secretaria de Educación Pública. *Matemáticas Tercer Grado*. México : Chanti Editores, (2012).

# Ambientes Inteligentes en Contextos Educativos: Modelo y Arquitectura

José Guillermo Hernández-Calderón, Edgard Benítez-Guerrero,  
Carmen Mezura-Godoy

Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana, Xalapa, México  
{guillermohernandez02, edbenitez, cmezura}@uv.mx

**Resumen.** La Inteligencia Ambiental (*Ambient Intelligence* o AmI) es un área de la Computación que se dirige a tener espacios, tecnológicamente enriquecidos, que proactivamente apoyen a las personas en su vida diaria. Dada la riqueza de información y conocimientos existentes en ámbitos educativos, la AmI puede proveer soluciones que se adapten a las necesidades y generen beneficios para los usuarios de estos entornos. Este artículo propone un modelo de ambientes educativos inteligentes, así como una arquitectura conceptual para sistemas que soporten dicho modelo.

**Palabras Clave:** Inteligencia Ambiental, Ambientes Educativos Inteligentes, Cómputo Consciente del Contexto

## 1 Introducción

La Inteligencia Ambiental (*Ambient Intelligence* o AmI, en Inglés) es un área de la Computación que se dirige a tener espacios, tecnológicamente enriquecidos, que proactivamente apoyen a las personas en su vida diaria [1]. Entre las principales características que se presentan en los sistemas de AmI se encuentran poder detectar información del entorno, razonar con los datos acumulados y seleccionar las acciones a tomar con el fin de beneficiar a sus usuarios [1]. Entre los campos de aplicación encontrados, destacan los siguientes: casas inteligentes, servicios de salud (hospitales, asistencia, servicios de emergencia), espacios de trabajo y entornos educativos. Es en este último campo de aplicación donde se enfoca este trabajo.

Dada la riqueza de información y de conocimientos existentes en ámbitos educativos, la inteligencia ambiental puede proveer soluciones que se adapten a las necesidades de los diferentes tipos de usuarios de estos entornos (estudiantes, profesores, personal administrativo), permitiendo facilitar sus actividades diarias a través del análisis de la información existente usando nuevas tecnologías y enfoques. Considere el siguiente escenario:

Juan es un estudiante del 6° semestre de la licenciatura en Derecho en el Sistema de Enseñanza Abierta de la Universidad Veracruzana. Para estudiar, Juan asiste a un aula inteligente. Antes de que Juan llegue al aula, ésta recupera su información académica (historial académico, horario, estilo de aprendizaje) e identifica, mediante su análisis, actividades y recursos educativos que puedan ser de utilidad para Juan. El aula contacta local o remotamente al profesor del curso para informarle el resultado del análisis y éste le indica si está de acuerdo con ello (en caso de no estar, el profesor puede modificar lo que considere necesario). Una vez que Juan llega al aula, ésta lo identifica y le asigna las actividades preparadas. Conforme Juan va realizando las actividades, el aula monitorea su desempeño para verificar si es el adecuado y, si no, le propone materiales suplementarios personalizados.

Contar con un aula inteligente como la descrita en el escenario anterior no es sencillo. Existen trabajos que han abordado el tema de la inteligencia ambiental en entornos educativos desde diversos ángulos, como el reconocimiento de los usuarios y el desarrollo de actividades dentro del aula mediante dispositivos aumentados que se encargan de recolectar información para mostrarla al maestro. De igual manera hay avances en la interconexión de diversos dispositivos que permiten al maestro facilitar el modo de impartir su clase y grabarla, así como para ofrecer a los alumnos la posibilidad de asistir remotamente a la clase. No obstante existen limitaciones, como que no consideran los aspectos que rodean al usuario y al entorno educativo al realizar la actividad (el contexto); tampoco contemplan la información académica del usuario o sus preferencias para realizar sugerencias al maestro. Nuestro trabajo se dirige a proponer una solución a esta problemática.

El objetivo de este artículo es doble. Por un lado, propone un modelo de ambientes educativos inteligentes que considera los elementos encontrados en un entorno educativo así como aspectos de cómputo centrado en el usuario y, por otro, una arquitectura conceptual de sistema que soporte el modelo.

El resto de este documento está organizado de la siguiente manera. Primero se describen aplicaciones existentes de inteligencia ambiental en entornos educativos y se hace su análisis considerando el modelado, la detección y el uso de la información del ambiente. Después se presenta una propuesta de modelo para ambientes educativos inteligentes y posteriormente se introduce una propuesta de arquitectura. Finalmente se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

## **2 Ambientes inteligentes en entornos educativos**

### **2.1 Aplicaciones y sistemas**

En la actualidad se pueden encontrar diversos trabajos relacionados con el tema de la inteligencia ambiental aplicada a entornos educativos. A continuación se describen algunos de ellos.

Shi et al [10] describen un salón en el cual se imparten clases que pueden ser atendidas por estudiantes locales y remotos, ofreciéndoles la posibilidad de interactuar como si estuvieran físicamente en él. El profesor y los alumnos que se encuentran de manera local interactúan a través de un pizarrón interactivo y de lápices digitales para hacer anotaciones que los estudiantes remotos también pueden visualizar. La interacción con los estudiantes remotos se da a través de un *Student Board* en el que se muestra la imagen de los estudiantes conectados y un asistente virtual, que representa al salón inteligente y con el que el maestro pueda interactuar.

Mathioudakis et al [4] presentan un sistema en tiempo real cuyo objetivo es auxiliar al maestro dentro de un salón inteligente. Este sistema monitorea las actividades de los estudiantes para mostrarle al docente información en una *student card*; entre esta información se encuentra información personal (como nombre y foto de perfil) e información con respecto a las actividades que ha realizado el estudiante durante el curso. El objetivo es brindar al maestro la información relevante de cada estudiante, de forma que le permita decidir las estrategias de enseñanza a utilizar u ofrecer asesoría.

Songdo City [12] se enfoca en la inclusión de tecnología en el aula, dotando a los alumnos con tabletas y a las aulas con cámaras y pantallas. Se implementan varias ideas de la Inteligencia Ambiental a gran escala, a nivel de una ciudad, para facilitar a los habitantes el acceso a recursos.

AmI-DesK es un dispositivo desarrollado por Antona et al [7]. Se trata de un objeto cotidiano del ambiente (un escritorio) pero aumentado con tecnología para la recolección de datos relacionados al alumno y a la actividad que está realizando, con el fin de generar información útil al maestro para adecuar las estrategias y brindarle recursos al alumno que le permitan mejorar su desempeño durante el curso.

Leonidis et al. [3], [8] proponen ClassMate, un framework abierto para Ambientes Inteligentes en entornos educativos el cual facilita la interoperabilidad de los servicios del ambiente, comunicación síncrona y asíncrona, capacidad de adaptación y seguridad, entre otros. El núcleo de ClassMate consta de cinco componentes: seguridad, perfil del usuario, administrador de dispositivos, espacio de información y un administrador del contexto, el cual se encarga de orquestar las interacciones entre los otros componentes para satisfacer las necesidades de los usuarios. ClassMate ha sido utilizado para realizar la herramienta de ayuda *The Teacher Assistant*, en la que el docente puede monitorear en tiempo real las actividades que se están realizando en el aula e identificar incidencias que se presenten.

## **2.2 Análisis de los sistemas de AmI educativos**

Los trabajos presentados fueron analizados considerando las siguientes dimensiones: modelado, detección y uso de la información del ambiente. Esto con el fin de identificar las ventajas y las limitaciones de los trabajos considerados. A continuación se presenta dicho análisis.

**Modelado del ambiente.** El modelado del ambiente comprende a los elementos lógicos y físicos que se encuentran dentro de él. Algunas propuestas como las de Bravo et al [2], [5], Leonidis et al [3], Antona et al [9] y Nava [6] describen dichos elementos de manera explícita mientras que otros no, como Shi et al [10] y AmI-Desk [7].

Leonidis et al. [3] consideran que en un entorno educativo se encuentran diversos elementos: usuarios, que en la ocurrencia son maestros y alumnos, así como artefactos físicos, como un escritorio aumentado con cámaras y sensores, además de dispositivos móviles, con los que los usuarios interactúan al realizar actividades. Shi et al. [10] también consideran a alumnos y maestros como usuarios, incluyen dispositivos biométricos y también elementos propios de un aula como apuntadores, pizarrones y cámaras. Las funciones principales de su sistema son apoyar al maestro al dar la clase, grabar las clases para subirlas a un repositorio y mejorar la experiencia de los alumnos que toman la clase de manera remota.

Antona et al [9], por su parte, identifican a los alumnos como actores principales, mientras que el maestro y el sistema actúan solamente como facilitadores del aprendizaje proporcionando al alumno los materiales adecuados. Se identifican artefactos que facilitan la recolección de datos de las actividades que están realizando sus usuarios, remplazando los tradicionales como pizarrones y escritorios con otros similares aumentados con tecnología, como por ejemplo el escritorio aumentado (AmiDesk) o un pizarrón aumentado. Los alumnos realizan actividades utilizando estos dispositivos y gracias a la información recolectada por ellos el ambiente puede mostrar al maestro un análisis del desempeño del alumno.

Bravo [2] identifica cuatro elementos básicos de información contextual en un ambiente inteligente. El primero es la identidad (*Identity awareness*) que permite identificar de manera unívoca a cada usuario, haciendo posible entonces acceder a su perfil y a sus necesidades para poder brindarle información/servicios personalizados. El segundo es la ubicación (*Location awareness*) que además de conocer a los usuarios presentes en el ambiente, permite conocer qué usuarios están próximos a un tablón virtual, con el fin de mostrarles información, tal como actividades, ejercicios y respuestas en el tablón virtual. El tercero es el tiempo (*Time awareness*) que permite al sistema conocer el horario de clase o el calendario escolar con el fin de enriquecer la información contextual y ayudar al sistema a ofrecer servicios o recursos al usuario de mejor manera. Finalmente, el cuarto elemento son las tareas (*Task awareness*), que permite conocer las posibles actividades que el usuario quisiera o pudiera realizar dentro del ambiente. Todo este conocimiento puede ser adquirido a través de la solicitud explícita al usuario o deducido de otros elementos considerados en el contexto.

**Detección del ambiente.** La identificación de usuarios se ha realizado mediante diversas tecnologías como RFID [5], NFC [6] o sistemas biométricos [10]. Tanto RFID y NFC están basadas en radiofrecuencia, siendo la diferencia entre estas dos tecnologías que RFID solamente funciona como mecanismo de lectura de información previamente almacenada en etiquetas de radiofrecuencia, mientras que en el caso de NFC se añade la fun-

cionalidad de guardar en las etiquetas información relacionada a eventos que ocurren en el ambiente, misma que podría ser consultada por los usuarios. En lo que respecta a los sistemas biométricos, en *The Smart Classroom* se utilizan para el reconocimiento del maestro.

Para la recopilación de información relacionada a la actividad que el alumno está realizando, se han ocupado dispositivos aumentados como AmIDesk [7] o también elementos propios del ambiente como los apuntadores, el pizarrón y las cámaras encontrados en *The Smart Classroom* [10] y con los cuales se puede identificar el espacio del aula donde es llevada a cabo la actividad principal de la clase.

**Uso de la información del ambiente.** Los elementos identificados por Bravo [2] (identidad, ubicación, tiempo, tarea) son utilizados para ofrecerle al usuario recursos, servicios e información de manera implícita, en otras palabras, sin que éste los solicite explícitamente. Por otro lado, al conocer el lugar donde se está llevando a cabo la actividad principal de la clase a través de los apuntadores y el pizarrón, el sistema en *The Smart Classroom* es capaz de apuntar las cámaras al lugar principal y poder grabarlo. Por su lado, AmI-RIA [4] utiliza los datos recolectados en las interacciones para identificar situaciones en las que el alumno presente alguna dificultad y para mostrar dicha información al maestro. Por último, el AmIDesk permite al alumno resolver actividades educativas y generar información que será presentada al docente para darle seguimiento, así como materiales multimedia que le pueden ser mostrados como recursos de apoyo.

### 3 Modelo de ambiente educativo inteligente

Esta sección propone un modelo de ambiente educativo inteligente. Para describirlo, hemos adoptado el modelo MARS para aplicaciones groupware [11], ya que considera elementos que también se encuentran en ambientes educativos inteligentes.

**Tabla1.** Modelo instanciado al caso de estudio

| Elemento                      | Instancia(s)  |
|-------------------------------|---|
| Arena                         | "Aula Inteligente"  |
| Actores                       | Juan, Salón 601, Dr. Benítez  |
| Objetos                       | IntroduccionAlDerecho.pptx,<br>Primer_examen_parcial.pdf                        |
| Familias de actores y objetos | Estudiante, Salón, Profesor, Material didáctico                                 |
| Modelos de interacción        | Seleccionar materiales educativos,<br>Evaluar sugerencias del aula inteligente, |

---

|         |  |
|---------|--|
|         | Asignar actividades de aprendizaje,<br>Realizar actividades de aprendizaje,<br>Evaluar el desempeño del estudiante   |
| Roles   | Material Seleccionado, Material Asignado, Evaluador,<br>Estudiante evaluado  |
| Guiónes | Seleccionar materiales educativos de acuerdo al perfil<br>del estudiante y al contexto de aprendizaje<br>Asignar actividades de aprendizaje de acuerdo a los<br>recursos disponibles (mensaje de texto, audio) |

---

En MARS una actividad colaborativa se desarrolla dentro de un espacio denominado Arena. En ella participan actores realizando interacciones reguladas de acuerdo a un modelo de interacción. Los actores en las interacciones manipulan y producen objetos siguiendo guiones que describen cómo se realizan las interacciones. Los actores y los objetos asumen roles durante las interacciones.

La Tabla 1 muestra la instanciación de MARS con los elementos del caso de estudio presentado en la Introducción, en el que el ambiente personaliza los contenidos de acuerdo a las características del usuario. Cabe destacar que en dicho escenario el ambiente funciona como un asistente del maestro que le muestra sugerencias de acuerdo a las características del usuario, al entorno y a la actividad.

## 4 Arquitectura conceptual

Esta sección propone una arquitectura conceptual para sistemas de AmI en aulas inteligentes. Dicha arquitectura soporta el modelo presentado en la sección precedente y se espera sea la base para posibles realizaciones concretas. La arquitectura (ver Figura 1) se divide en cuatro capas que son: capa de elementos físicos y lógicos propios del entorno, capa de reconocimiento y acción, capa de análisis y capa de datos.

### 4.1 Elementos físicos y lógicos del entorno

La primera capa engloba a los elementos físicos y lógicos que se encuentran dentro del ambiente y pueden ser utilizados por el usuario o el sistema para interactuar y realizar una actividad. Ejemplos de estos son: pizarrón interactivo o inteligente, aplicaciones educativas, materiales digitales, teléfonos móviles, tarjetas de identificación, cámaras, entre otros. Además de ser utilizados para realizar una actividad, estos elementos permiten la recolección de datos por parte del sistema para conocer al usuario y las posibles actividades que se encuentra realizando a través de la capa de reconocimiento y acción.

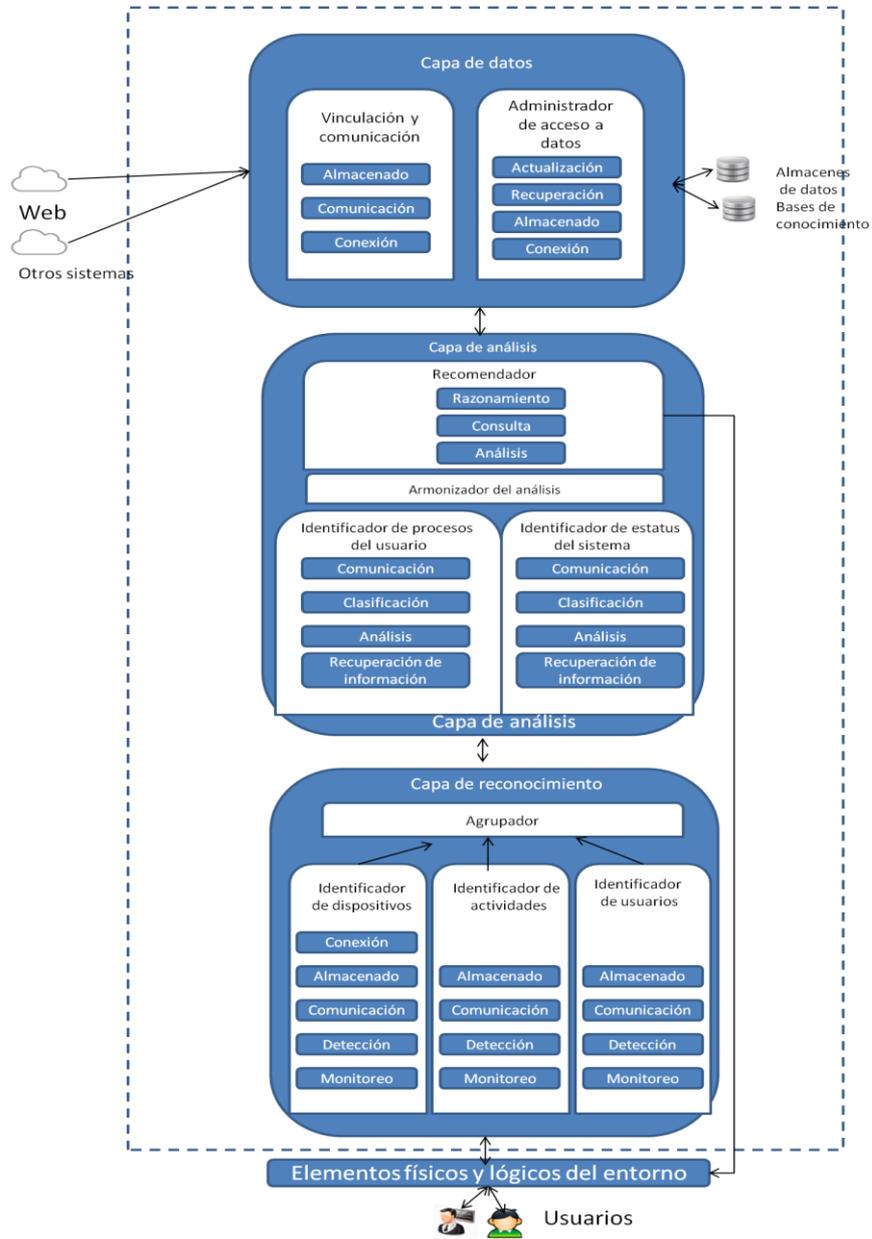


Fig. 1 Arquitectura conceptual.

## **4.2 Capa de reconocimiento**

La capa de reconocimiento engloba todos los componentes necesarios para que el sistema pueda identificar todo lo que se encuentra dentro del entorno educativo.

**Identificador de dispositivos.** Su función es la de identificar los dispositivos físicos dentro del ambiente, donde dispositivo se refiere a cualquier herramienta de trabajo o comunicación dentro del aula que tenga la posibilidad de recibir o transmitir datos y conectarse al sistema.

Este componente, además de identificarlos, debe clasificarlos para poder relacionarlos mejor de acuerdo a su función, su tipo y su modo de comunicación. También debe ser capaz de identificar y poder establecer canales de comunicación con los dispositivos que se conecten por periodos cortos de tiempo, como los teléfonos móviles de los usuarios.

**Identificador del usuario.** Su función es la identificación del usuario y la recuperación de la información básica relacionada con él, de acuerdo al momento en que el usuario se encuentra en el ambiente.

**Identificador de actividades.** Monitorea los eventos del entorno, a través de los dispositivos disponibles, para identificar posibles actividades que se están llevando a cabo.

**Agrupador.** Su función es recolectar/recibir la información generada por los componentes de la capa de reconocimiento, estructurarla y enviarla a la capa de análisis. Sirve como un intermediario de comunicación entre los componentes de la capa de reconocimiento y la capa de análisis.

## **4.3 Capa de análisis**

La capa de análisis de datos se dirige a determinar la situación actual del usuario y del ambiente de acuerdo a la información generada en la capa anterior, sin dejar de lado la consulta del histórico de datos almacenados por el sistema, las reglas propias de la Arena o espacio en el que se llevan a cabo las actividades, así como las características del usuario.

**Identificador de procesos del usuario.** Este componente determina la situación actual del usuario dentro del entorno. Un ejemplo de ello es: "El usuario Juan cursa el 6to semestre y su promedio es de 8.6, puede tener problemas con la materia de Derecho Privado

Romano y se encuentra realizando actividades para reforzar el tema "Inicios del Derecho Privado".

**Identificador de estatus del sistema.** Determina el estado actual del sistema y del ambiente en el momento que se lleva a cabo la actividad. Una posible salida de este componente es "Se tienen 5 recursos disponibles relacionados con inicios del derecho privado, la temperatura actual del entorno es de 34°, hay un teléfono móvil perteneciente a Juan conectado, una computadora con dirección Mac e IP de 00 8A 01 3E 00 y 192.168.1.2, un cañón conectado y otros dispositivos de comunicación, son las 14:32 horas y las actividades actuales están programadas para terminar a las 15 horas."

**Armonizador del análisis.** Armoniza la información de la situación actual del usuario y del sistema para enviarla al Recomendador. Este componente tiene como función principal estructurar y clasificar la información analizada para realizar los procesos necesarios en el Recomendador que permitan sugerir las mejores opciones de acuerdo al material disponible y a las características del usuario y el entorno en el cual se está llevando a cabo la actividad.

**Recomendador.** Este componente se encarga de sugerir, de acuerdo a la información obtenida y analizada, el contenido educativo que mejor se adapte a la situación actual del usuario. Esta sugerencia es enviada al maestro para que la evalúe y determine si el contenido sugerido se muestre finalmente al alumno o si se debe cambiar por otro.

#### **4.4 Capa de datos**

La capa de datos contempla la información que es generada por los elementos del ambiente y que es consultada por el ambiente para personalizar y hacer sugerencias a los usuarios. Está compuesta de 3 elementos: almacenes de datos, acceso a datos y por último el de comunicación. Los almacenes de datos contienen toda la información generada por el sistema y se consideran: (1) bases de datos para almacenar la información relacionada a usuarios, actividades, estados del entorno y el histórico de la información generada en el ambiente, (2) bases de conocimiento que contienen las reglas que definirán el comportamiento del sistema de acuerdo a actividades y hechos registrados previamente en el sistema y modelos de usuario y ambiente, que definen las características básicas de usuario y ambiente que permitan clasificar y actuar de mejor manera. Por su parte, el acceso a datos se refiere a servicios que permitan recuperar la información almacenada en las bases de datos y en las bases de conocimiento. Por último está el elemento de comunicación cuya función principal es la de comunicarse para extraer información relacionada al usuario

que pudiera no estar almacenada directamente en el sistema pero sí en la web o en otros sistemas.

## **5 Conclusiones y Trabajo Futuro**

Este artículo propone un modelo así como una arquitectura funcional para sistemas de Aml, particularmente para aquellos orientados a entornos educativos. El modelo propuesto considera los elementos fundamentales que se encuentran en este tipo de sistemas (actores, tales como maestros y alumnos, sus actividades, así como los objetos que manipulan). La arquitectura conceptual, por su lado, propone componentes abstractos que soportan los elementos del modelo.

Como trabajo futuro se considera la validación experimental tanto del modelo como de la arquitectura propuestos, mediante el desarrollo y uso de un prototipo de entorno educativo inteligente. Se espera que los resultados que se obtengan permitirán identificar áreas de oportunidad para la mejora de las propuestas presentadas en este documento.

## **Referencias**

1. Cook, D.J., Augusto, J.C., Jakkula, V.R. Review: Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing* 5, 277-298 (2009).
2. Bravo, J., Hervás, R., Sánchez, I., Crespo, A. U. Servicios por identificación en el aula ubicua. En VI Simposio internacional de Informática Educativa (SIIE'04), pp. 26-27 (2004)
3. Leonidis, A., Margetis, G., Antona, M., Stephanidis, C. ClassMATE: Enabling Ambient Intelligence in the Classroom. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 66, 594-598 (2010)
4. Mathioudakis, G., Leonidis, A., Korozi, M., Margetis, G., Ntoa, S., Antona, M., Stephanidis, C. (2013). AmI-RIA: Real-Time Teacher Assistance Tool for an Ambient Intelligence Classroom, En *Proceedings of the Fifth International Conference on Mobile, Hybrid, and On-Line Learning (eLmL 2013)*, 37-42 (2013)
5. Bravo, J., Hervás, R., Chavira, G. Ubiquitous Computing in the Classroom: An Approach through Identification Process. *Journal of Universal Computer Science*, 11(9), 1494-1504 (2005).
6. Nava, S. Modelado de un ambiente inteligente: Un entorno consciente del contexto a través del etiquetado. Tesis Doctoral. Escuela Superior de Informática, Universidad de Castilla - La Mancha (2010)
7. Antona, M., Margetis, G., Ntoa, S., Leonidis, A., Korozi, M., Paparoulis, G., Stephanidis, C. Ambient Intelligence in the Classroom: an Augmented School Desk. En *Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (2010)
8. Leonidis, A., Korozi, M., Margetis, G., Ntoa, S., Papagiannakis, H., & Stephanidis, C. A Glimpse into the Ambient Classroom, *Bulletin of the IEEE Technical Committee on Learning Technology*, 14(4), 3 (2012)

9. Antona, M., Leonidis, A., Margetis, G., Korozi, M., Ntoa, S., & Stephanidis, C. A Student-Centric Intelligent Classroom, En Proceedings of the Second International Joint Conference on AmI, 248–252 (2011).
10. Shi, Y., Xie, W., Xu, G., Shi, R., Chen, E., Mao, Y., & Liu, F. The Smart Classroom: Merging Technologies for Seamless Tele-Education. *IEEE Pervasive Computing*, 2(2), 47-55 (2003)
11. Mezura-Godoy, C, Talbot, S. Towards Social Regulation in Computer-Supported Collaborative Work. En Proceedings of the 9th International Workshop on Groupware: Design, Implementation, and Use (CRIWG 2003), pp 84-89 (2003).
12. Schiller, A., & Park, M. The International Campus as Prototype for International Collaboration: South Korea's Incheon Global Campus. *Global Partners in Education Journal*, 4(1), 33–40 (2014)



# Sistema de apoyo para personal médico utilizando servicios web para dispositivos móviles Android

Ricky Raymond Cruz Mendoza, Jorge Fernando Ambros Antemate, María del Pilar Beristain Colorado

Escuela de Ciencias, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México  
{ricky.cruz, jfambros}@gmail.com, berisp@hotmail.com

**Resumen.** Cada día se logran avances tecnológicos que buscan satisfacer las diversas necesidades de estar en continua conexión con la información y comunicaciones. Es por esta razón que aparecen las tecnologías móviles que han causado una gran revolución en diversos ámbitos de la vida cotidiana e interacción de la sociedad humana, la rama de la medicina no está exenta de ellos, se han desarrollado diversos sistemas de información que han apoyado a esta área y que son de gran ayuda para el personal médico. El presente artículo es una propuesta de un sistema para dispositivos móviles utilizando servicios Web, que permita al médico diagnosticar, almacenar y recuperar la información de los historiales clínicos de pacientes, así como apoyar al personal médico mediante notificaciones para la administración de medicamentos.

**Palabras Clave:** Dispositivos móviles, Servicios Web, SOA

## 1 Introducción

Actualmente el uso de tecnologías de la información hace presencia en todo lugar, hasta llegar a ser parte indispensable de nuestro modo de vida, es tan amplio su impacto en la sociedad actual que ha generado grandes cambios en diversas áreas de esta, como en la economía mundial, la política, la cultura y estilo de vida de las personas, cambiando de modo innegable la forma de producir, adquirir y acceder a la información.

Los dispositivos móviles representan una nueva oportunidad de acceso para los sistemas de información, cuyo potencial aún no ha sido explotado en su totalidad en todos los sectores donde estos pueden funcionar. Gracias al avance tecnológico que han experimentado es posible utilizar nuevas tecnologías de comunicación, como son los servicios Web para el acceso a los datos.

Uno de los sectores en el cual no se aprovechan las nuevas tecnologías móviles es el área médica hospitalaria, en donde el seguimiento de tratamientos e historial médico de los pacientes atendidos en los centros de salud/nosocomios en ocasiones es un proceso tardado y en algunos casos poco eficiente.

Ante la necesidad de mejorar la noble labor médica, se desarrolla el presente sistema, el cual presenta una solución tecnológica para modernizar, optimizar el servicio médico y tratamiento de pacientes en hospitales, utilizando para esto una aplicación para dispositivos móviles Android basada en servicios Web.

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: la sección 2 presenta la problemática abordada que da origen al desarrollo del sistema de apoyo al personal médico, la sección 3 describe la arquitectura utilizada que da el soporte al sistema, la sección 4 comprende un caso de estudio que describe la funcionalidad de la aplicación móvil, en la sección 5 se presentan trabajos relacionados donde se utilizan dispositivos móviles en el área médica. Finalmente, la sección 6 muestra las conclusiones y trabajo a futuro.

## **2 Problemática abordada**

El seguimiento de tratamientos e historial médico de los pacientes que son atendidos en muchos de los hospitales o centros médicos ubicados en el país, es una tarea tardada y poco eficiente, en la mayoría de los casos se almacena y archiva la información del paciente atendido de una forma muy poco práctica y segura, se hace a través de cajas que contienen cientos de papeles lo que ocasiona que algunos datos se traspapelen, por lo tanto localizar el historial médico de los pacientes en algunos casos es un procedimiento tardado y meticuloso, aun teniendo cierto orden en el almacenamiento, ya que la búsqueda de información se realiza de forma manual cuidando de no mezclar información de pacientes, esto sin duda es poco eficiente y apropiado, aunado a esto en caso de que ocurra algún siniestro (incendio, inundación, terremoto, robo, etc.), es posible que se pierdan datos sensibles del paciente sin posibilidades de recuperar parcial o totalmente dicha información, también cabe destacar que el proceso de entrega/cambio de turno para el personal médico es poco cómodo y funcional ya que se debe verificar que todas las hojas del historial médico de los pacientes este completo, para poder ser archivado.

Otro problema que presenta el personal médico de apoyo como son las enfermeras (os) se deriva de la gran cantidad de pacientes que atienden de manera simultánea; ya que es posible que el personal olvide suministrar la medicación y tratamiento médico recetado por los doctores que examinaron al paciente o en casos más graves se equivoquen y/o proporcionen tratamientos y medicinas que no eran para dicho paciente, ya sea por descuido o exceso de trabajo, esto provoca que el proceso de recuperación se vea mermado y se prolongue, haciendo que el paciente reciba un servicio deficiente en el hospital o centro de atención.

### **3 Arquitectura orientada a servicios**

Es la arquitectura más difundida en el mundo de los Servicios Web; la Arquitectura Orientada a Servicios (en inglés Service Oriented Architecture), es un concepto de arquitectura de software que define la utilización de servicios para dar soporte a los requisitos del negocio.

SOA no es una tecnología ni un producto que se puede comprar e instalar, es un conjunto de patrones, principios y prácticas para construir piezas de software que puedan interoperar independientemente de la tecnología empleada en su implementación. En este sentido, SOA conlleva a la implementación de tecnologías que permiten una completa interoperabilidad entre ellas para el desarrollo de software.

El principio clave de una arquitectura SOA es el “proceso de abstracción”, que permite que la ejecución, administración y los cambios en los procesos sean manejados directamente a nivel de negocios de una forma más fácil [1].

SOA es una combinación de consumidores y servicios que trabajan en conjunto, es guiada por principios y soporta diversos estándares [2].

Actualmente los dispositivos móviles han incrementado su poder de procesamiento, esto ha abierto un panorama para el desarrollo de aplicaciones utilizando una SOA mediante el uso de servicios Web.

La mayoría de las definiciones de SOA identifican la utilización de Servicios Web (empleando SOAP y WSDL) en su implementación, no obstante se puede implementar una SOA utilizando cualquier tecnología basada en servicios.

La aplicación desarrollada utiliza una arquitectura orientada a servicios, esto provee los siguientes beneficios:

1. Utiliza estándares como XML, WSDL (Web Services Description Language), lo anterior asegura la interoperabilidad entre los diferentes servicios y las aplicaciones que interactúan entre sí.
2. Uso de SOAP (Simple Object Access Protocol) el cual es un protocolo de comunicación ligero, basado en XML, lo cual ofrece la ventaja de que las aplicaciones y los componentes intercambien datos [3].
3. Los protocolos de comunicación utilizados por los servicios Web son independientes del sistema operativo, plataforma y lenguajes de programación.
4. Los servicios al ser débilmente acoplados permiten que las aplicaciones que los utilicen sean fácilmente escalables, ya que existe una pequeña dependencia entre estos elementos.
5. Existen una alta reutilización de los servicios Web, cada uno de ellos está disponible para otro tipo de aplicaciones.

#### **3.1 Propuesta de la arquitectura**

La propuesta de arquitectura para la aplicación es la siguiente:

**Servidor:** una computadora con un servidor Web Apache, PHP, servidor MySQL como gestor de base de datos y la biblioteca de funciones NuSOAP que permite encapsular la información en el formato que SOAP requiere para transmitir los datos.

**Servidor de notificaciones:** se utiliza un servidor externo que pertenece a Google (Google Cloud Messaging) para realizar el envío de notificaciones a los clientes móviles registrados en el sistema [4].

**Cliente:** El dispositivo móvil será quien envíe peticiones de información a los servidores, a través de un servicio Web que varía dependiendo el tipo de información solicitada por el usuario, cada servicio Web utiliza estándares: XML como formato estándar para los datos, HTTP para el transporte a través de internet [5], SOAP es el protocolo utilizado para el intercambio de datos y WSDL para describir las interfaces públicas de los servicios. La aplicación móvil contiene las bibliotecas de funciones kSOAP[6][7] y Google Play Services. Para recuperar la información de los pacientes de una forma más rápida, la aplicación tiene la opción de utilizar la lectura de códigos QR utilizando la cámara, para realizar esto los dispositivos móviles incorporan la biblioteca de funciones zxing[8].

Un código QR [9] es un código de barras diseñado en 1994 por la compañía Denso, subsidiaria de Toyota. Utiliza como formato un código de barras matricial (o bidimensional), que se diferencia de los códigos de barra tradicionales por tener mayor capacidad de almacenamiento y contener información alfanumérica.

El uso de códigos QR en la aplicación permite que se almacene en su interior la CURP, número de seguro social o cualquier otro dato que servirá como identificador del paciente, para que el personal médico desde la cámara de su dispositivo móvil escanee el código QR sin necesidad de escribir el identificador del paciente, de esta forma se recupera con inmediatez la información del expediente clínico, puesto que reduce el tiempo de búsqueda y acceso a esta. De esta manera el personal médico puede acceder y consultar la información de los pacientes desde múltiples ubicaciones sin necesidad de tener que acudir al documento físico.

La figura 1 muestra los componentes que conforman la arquitectura.

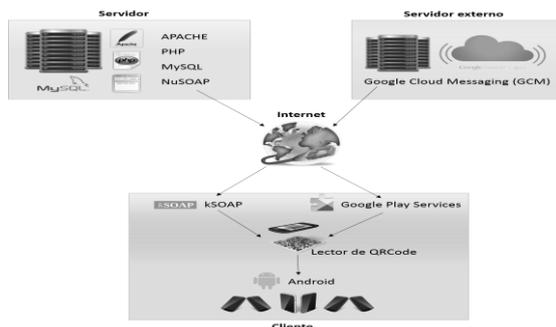


Fig. 1. Arquitectura propuesta para la aplicación.

### **3.2 Funcionalidad de la aplicación**

La funcionalidad se explica a continuación

1. La aplicación Android realiza una petición HTTP utilizando la biblioteca de funciones KSOAP, se especifica la URL donde se encuentra el documento WSDL con la descripción del servicio.
2. KSOAP descubre en el servidor Web el método solicitado, la lógica del negocio procesa la solicitud y ejecuta el método.
3. La lógica del negocio se comunica con el servidor de base de datos, se procesa la consulta y retorna los registros al método.
4. NuSOAP construye la respuesta y retorna los datos al cliente utilizando un servicio Web mediante SOAP, se construye un documento XML que contiene la información.
5. En el cliente, KSOAP obtiene el documento XML y lo transforma en un objeto de tipo SoapObject con la estructura element = anyType (key0; key1 = element1; ...; KeyN-1 = elementN-1), para extraer cada uno de estos elementos se utiliza la clase SoapPrimitive, de esta forma se separan las llaves con su valor para ser utilizados por la aplicación en las vistas[7].
6. La recepción de notificaciones está gestionada por Google Play Services que permite establecer el contacto con el servidor externo de Google y de esta manera se muestre y gestione la visualización de notificaciones recibidas y que lleguen al dispositivo correcto.

En la siguiente sección se presenta un caso de estudio, donde se muestra la funcionalidad de la aplicación.

## **4 Caso de estudio**

El siguiente caso de estudio muestra como la aplicación móvil con un usuario de tipo médico diagnóstica un paciente en el sistema y el personal médico recibe la notificación de suministración de medicamento.

Este proceso inicia cuando el médico selecciona en su Menú Principal la opción denominada “Diagnosticar Paciente” (figura 2(a)) al seleccionar dicha opción se muestra la pantalla “Ingresar Paciente” (figura 2(b)) en donde el médico deberá capturar los datos generales del paciente, capturada la información anterior se muestra al usuario la pantalla “Alergias” (figura 2(c)) donde deberá ingresar el nombre de cada una de las alergias que el paciente sufre, por cada alergia agregada estas se muestran en una lista, si el médico lo requiere, también tiene la opción de eliminar una alergia.



Fig. 2. (a) Pantalla menú principal, (b) Pantalla ingresar paciente, (c) Pantalla de alergias.

Una vez capturados los datos anteriores, la aplicación muestra la pantalla de captura de “Datos del Responsable” (figura 3(a)), posteriormente el médico realiza el diagnóstico como lo muestra la figura 3(b), para proseguir el proceso de diagnóstico es necesario que se capturen las “Instrucciones Medicamento”, donde el médico indica los periodos entre tomas de cada uno de los medicamentos que requiera el paciente, esta información se utiliza para que el servidor envíe las notificaciones de forma automática de la toma de medicamentos a las enfermeras y de esta forma suministren la medicina a los pacientes que tienen asignados.

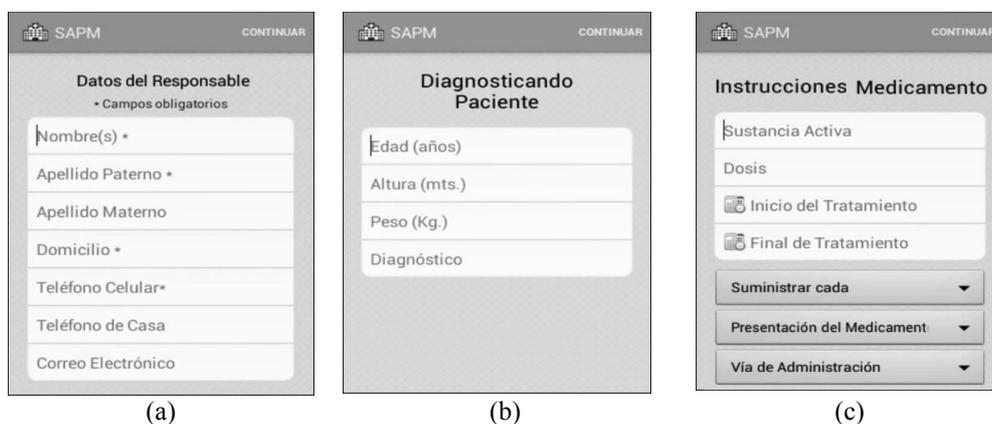


Fig. 3. (a) Pantalla datos del responsable, (b) diagnóstico del paciente, (c) instrucciones del medicamento.

Si el médico requiere recuperar la información del paciente para revisar los diagnósticos anteriores, debe seleccionar del menú principal la opción de “Escanear QRCode”, la figura 4 (a) presenta la lectura de un código en el dispositivo físico, al escanear el código con la cámara se extrae la clave del paciente y se muestran los ingresos que se han registrado (figura 4 (b)), al seleccionar un ingreso de la lista se presentan los datos de los tratamientos realizados (la figura 4(c)), en esta pantalla el médico también consulta las alergias del paciente, y en caso de agregar o eliminar alguna de ellas tiene una sección para realizar esta tarea.

El envío de notificaciones está a cargo del servidor, se desarrolló un script en PHP que gestiona de manera dinámica todos los medicamentos recetados por el médico, cuando el script detecta que es la hora de recetar un medicamento, el aviso se envía de manera automática al dispositivo del personal, utilizando para esto el servidor externo Google Cloud Messaging, entre los datos que se reciben en la notificación se encuentran: la clave del paciente, cantidad, horarios y periodo de administración del medicamento, nombre del paciente, la figura 5 muestra la pantalla.

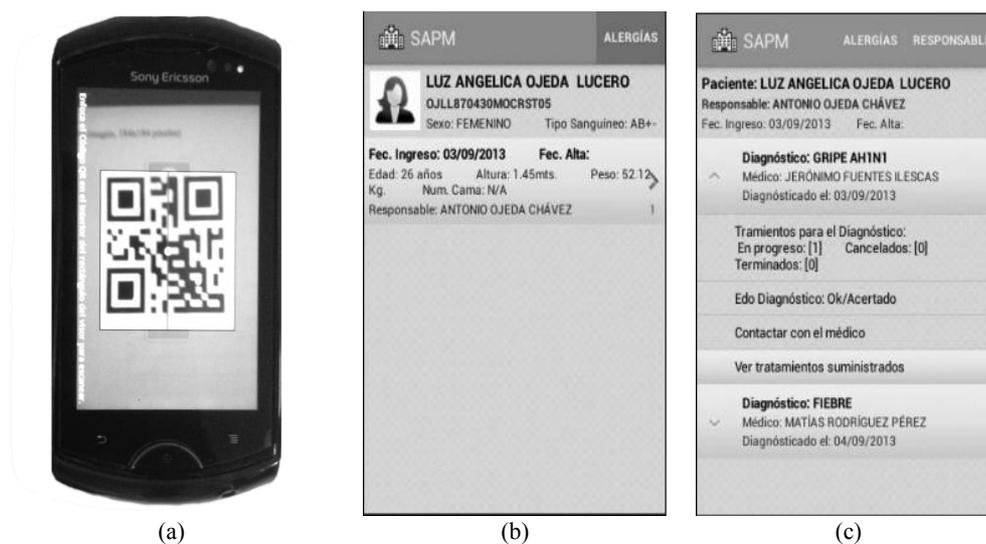


Fig. 4. (a) Escaneo de un código QR en dispositivo físico, (b) lista de ingresos del paciente, (c) tratamiento del paciente.

La aplicación para el apoyo del personal médico es de gran utilidad, ya que permite diagnosticar, almacenar y recuperar de una manera más eficiente los datos de los pacientes gracias a las ventajas que ofrecen los dispositivos móviles.

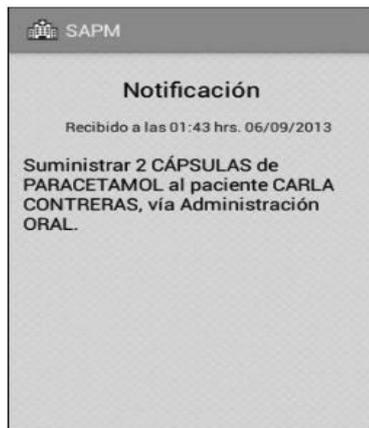


Fig. 5. Notificación en el dispositivo del personal médico.

## 5 Trabajo relacionado

Con el paso de los años se han creado diversas aplicaciones orientadas para ser usadas por el personal médico, como son los siguientes.

IQMAX, es una aplicación que mediante formularios cargados en dispositivos móviles registra pacientes, cargos y cambios de turno, que se envían posteriormente a una base de datos central. Gracias a esto el personal médico puede organizarse mejor [10].

Hospital Torre Vieja, concede acceso interactivo a los expedientes y análisis de laboratorio de los pacientes. Esta aplicación envía mensajes vía SMS (mensajes de texto) con información de expedientes y resultados de laboratorios desde el sistema de gestión del hospital al teléfono del médico [11].

Si bien las aplicaciones mencionadas anteriormente cuentan con cierto parecido a la desarrollada, se enfocan más al almacenamiento de información del paciente y como hacer más eficiente la distribución del personal médico, pero olvidan como facilitar y consultar dicha información de una manera práctica, tampoco cuentan con un sistema de notificaciones que facilite a enfermeras(os) el suministro de tratamientos/medicamentos que ayuden a evitar errores o negligencias médicas.

## **6 Conclusiones y trabajo a futuro**

El desarrollo de la aplicación “Sistema de Apoyo para Persona Médico utilizando servicios Web para dispositivos móviles Android”, mejora, optimiza, facilita, gestiona y maneja la administración de los expedientes médicos de los pacientes que son atendidos en el centro de salud/nosocomio donde se encuentre implementado, así como los recordatorios de prescripción de medicamentos. La información del paciente es almacenada en una base de datos, de esta manera el personal médico puede acceder y consultar la información de los pacientes desde múltiples ubicaciones sin necesidad de tener que acudir al documento físico, esto proporciona rapidez y practicidad en el acceso a los documentos que componen el expediente médico.

Esta aplicación ayuda a prevenir pérdidas documentales al tener los expedientes médicos respaldados y en formato digital, la información queda completamente resguardada, además al mantener los expedientes médicos en formato digital se reduce radicalmente el volumen de impresión y copiado de documentos (además de sus consecuentes beneficios de costo), ayudando así a la conservación del medio ambiente.

Otra ventaja es el ahorro de espacio físico, la aplicación permite liberar superficies antes destinadas a guardar los documentos, que posteriormente se pueden utilizar para atender más pacientes o alguna otra actividad. Además aumenta considerablemente la capacidad de almacenamiento ya que la información pasa a alojarse en soportes digitales

Por otra parte, el sistema de notificaciones que implementa la aplicación mediante el servidor facilita de manera considerable el suministro de medicación a pacientes, ya que de manera automática se encarga de verificar y notificar la fecha y diversos horarios en que un medicamento deber ser suministrado a cada uno de los pacientes, haciendo menor la carga de trabajo de las enfermeras y haciendo aún más eficiente su ardua labor, lo que por ende provoca la minimización de errores humanos en el suministro de medicamentos a los pacientes que el personal médico tenga a cargo.

Como trabajo a futuro se desarrollarán clientes ligeros en otras plataformas de dispositivos móviles, así como un módulo para que los pacientes localicen mediante las coordenadas GPS de su dispositivo la ubicación de clínicas u hospitales en un mapa, realizando búsquedas de lugares que atiendan la enfermedad que padecen. También se escalará la aplicación para dar soporte a más tipos de procedimientos y trámites administrativos con que cuenten los hospitales o centros de salud.

## **Referencias**

1. Fernández J., Surroca A.: *Cómo reformular la Arquitectura Corporativa para alcanzar el alto Rendimiento*. Centro de Alto rendimiento. (2008)
2. Mueller, J. P.: *Special edition using SOAP*. Indiana, United States of America: QUE. Pp 12-18. 2007. (2002)

3. Erl Thomas: SOA, Principles of Service Design. United States of America: Prentice Hall. Pp 37-51, (2007)
4. Penghui Li: Implementation of Cloud Messaging System Based on GCM Service. Computational and Information Sciences (ICCIS), 2013 Fifth International Conference. (2013)
5. Sayed Y. H., Satya K.: Pro Android. New York, United States of America: Apress. pp 263-271. (2009)
6. Kozel T., Slaby A.: Mobile devices and Web services. 7th WSEAS International Conference on APPLIED COMPUTER SCIENCE. (2007)
7. ksoap2-android, mayo 2014. [en Web]. Disponible en: <http://code.google.com/p/ksoap2-android/>. Fecha de consulta: mayo (2014)
8. zxing/zxing GitHub, mayo 2014. [en Web]. Disponible en: <https://github.com/zxing/zxing>. Fecha de consulta: mayo (2014)
9. History of QR Code - Denso Wave Incorporated, mayo 2014. [en Web]. Disponible en: <http://www.qrcode.com/en/history/>. Fecha de consulta: mayo (2014)
10. Norris, A. C.: Essentials of Telemedicine and Telecare. Editorial John Wiley & Sons, Enero 28, (2002)
11. Palau, E.: Telemedicina: un intento de aproximación desde la Gestión Sanitaria. Revista española de Administración Sanitaria, Vol. 5, Número 19 (2001)

# Identificación de las características esenciales para aplicaciones Android de e-health orientadas al monitoreo de la obesidad

Carlos Alberto Veloz Vidal<sup>1</sup>, Viviana Bustos Amador<sup>1</sup>, Francisco Álvarez Rodríguez<sup>1</sup>,  
Ricardo Mendoza González<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias Básicas, Dpto. Sistemas de Información Av. Universidad #940, Cd. Universitaria, CP. 20131, Aguascalientes, México.

<sup>2</sup>Universidad Politécnica de Aguascalientes, Dirección de Posgrado e Investigación, Calle Paseo San Gerardo No. 207. Fracc. San Gerardo. C.P. 20342. Aguascalientes, México

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Sistemas y Computación, Av. Adolfo López Mateos 1801, Ote. Fracc. Bonagens. C.P. 20257. Aguascalientes, México

{carlosa.veloz, ic.viviana.b}@gmail.com, fjalvar@correo.uaa.mx,  
ricardo.mendoza@upa.edu.mx, mendozagric@mail.ita.mx

**Resumen.** Actualmente México ocupa el primer lugar mundial en obesidad, lo que representa uno de los principales problemas de salud pública del país. Esto ha despertado el interés, y la necesidad de que la comunidad tecnológica y científica se unan a los especialistas de la salud, para generar estrategias que refuercen los tratamientos preventivos tradicionales para el control del peso. Una de estas estrategias es el desarrollo de aplicaciones e-health para el sistema operativo Android. Si bien, existen aplicaciones disponibles para este fin, la mayoría no cuentan con un respaldo de profesionales de la salud, haciendo de sus diagnósticos, y/o sugerencias poco confiables. Para contribuir en la reducción de este problema, se analizaron las aplicaciones Android de obesidad más populares, esto, permitió establecer características clave a considerar en aplicaciones de e-health. Dichos hallazgos se materializaron en una aplicación para el Monitoreo de la Obesidad, donde los resultados obtenidos se discuten al final del artículo.

**Palabras clave:** obesidad, dispositivos móviles, Android, e-health, cuestionario de hábitos alimenticios.

## **1 Introducción**

Actualmente el 30% de la población adulta en México tiene problemas de obesidad a diferencia del 28% alcanzado por Estados Unidos, esto de acuerdo con datos presentados en [1]. Con respecto a la población infantil, México ocupa el cuarto lugar de prevalencia mundial de obesidad, aproximadamente 28.1% en niños y 29% en niñas, superado solo por Grecia, Estados Unidos e Italia [2].

La obesidad y el sobrepeso se consideran enfermedades no transmisibles (ENT), las cuales tienen repercusiones en los gastos de salud, tanto de los gobiernos, como de los individuos que las padecen. Las consecuencias de las ENT impactan directamente en la productividad laboral, desempeño escolar, calidad de vida y bienestar tanto físico como emocional del individuo.

En 2008, el 80% del total de las defunciones (29 millones) por ENT se produjeron en países de ingresos bajos y medios. La obesidad tiene diferentes orígenes como lo son la predisposición genética, estilo de vida, falta de actividad física, el insuficiente consumo de frutas y verduras, la cultura, la educación, la globalización, el entorno político y social, por mencionar algunos de los principales factores. Básicamente el problema de obesidad y sobrepeso se resumen en un desequilibrio energético entre las calorías que se consumen y las que se gastan. En todo el mundo se ha incrementado la ingesta de alimentos hipercalóricos (ricos en grasa, sal y azúcares pero pobres en vitaminas, minerales y micronutrientes) y se ha reducido la actividad física (como resultado de un estilo de vida más sedentaria, ya sea por el trabajo, cambio en los medios de transporte y la creciente urbanización) [3, 4].

Por otro lado, el uso de los dispositivos móviles (smartphones y tablets) se ha incrementado a tal grado que se han convertido en una alternativa al cómputo tradicional (laptops y PCs de escritorio), haciendo más simple la movilidad, usabilidad y portabilidad de estos dentro de la población en general, lo cual los convierte en una valiosa plataforma para el desarrollo de aplicaciones relacionadas con temas de salud.

Los dispositivos móviles son una vía particularmente atractiva para el desarrollo de aplicaciones de la salud, debido a: (1) la adopción generalizada de dispositivos móviles con capacidades técnicas cada vez más potentes [5], (2) la tendencia de las personas a llevar estos dispositivos con ellos a todas partes, (3) el apego de las personas a sus teléfonos [6], y (4) las características de sensibilización de contexto habilitadas a través de sensores y la información personal vía telefónica.

La dependencia de las personas a llevar siempre consigo un dispositivo móvil, además de la facilidad para desarrollar aplicaciones de e-health para el sistema operativo Android, permiten a las instituciones de salud así como a los desarrolladores independientes por igual, crear productos de gran aceptación entre la población que ataquen los padecimientos ya mencionados a través de diferentes frentes, como lo son aplicaciones que fomenten la actividad física, el cambio a una dieta más saludable, detección del estado de salud del usuario, monitoreo y seguimiento de enfermedades, etc. Sin embargo,

es importante que estas aplicaciones sean desarrolladas con apego a un estudio científico realizado por especialistas en el área de la salud, ya que al tratar situaciones muy delicadas del estilo de vida de los usuarios, se requiere que el diagnóstico o recomendaciones sean las adecuadas, para beneficiar y mejorar la calidad de vida de los usuarios que las utilizan.

Lo anterior representa la principal motivación para la realización de este trabajo, cuyas secciones se distribuyen de la siguiente manera: la sección 2, presenta la problemática actual en las aplicaciones de e-health, seguida del estudio comparativo en la sección 3. El prototipo generado a partir de las características identificadas se describe en la sección 4, los resultados parciales de la aplicación desarrollada para el monitoreo de obesidad (disponible en [7]) se presentan en la sección 5. Finalmente las conclusiones, así como el camino a seguir en el corto plazo se presentan en la sección 6.

## **2 Problemática**

Existen miles de aplicaciones disponibles en la Google Play Store listas para ser descargadas por los usuarios, sin embargo menos del 1% del total de aplicaciones disponibles se encuentran dentro de la categoría de Medicina. Al realizar una búsqueda en Google Play con las palabras: “*control de peso*”, “*obesidad test*” y “*obesidad diagnostico*”, se observa en los resultados que son muy pocas las aplicaciones que son desarrolladas (o por lo menos respaldadas) por instituciones o especialistas, ya que la gran mayoría de aplicaciones disponibles son creadas por desarrolladores independientes.

Esta situación representa un problema importante debido a que los resultados, diagnósticos, sugerencias/consejos, dietas, y demás resultados generados por las aplicaciones son poco confiables. Esto a la larga podría verse reflejado directamente en los volúmenes de descarga de las aplicaciones disponibles, al ser percibidas como poco confiables por los usuarios desde la lectura de la descripción en los repositorios como Google Play Store. Otro aspecto que puede percibirse como un punto de mejora, es sin duda que la mayoría de las aplicaciones relacionadas con obesidad o sobrepeso, se enfocan en presentar al usuario una serie de consejos o dietas que con el tiempo le permitan llegar a su peso “*ideal*”, el cual en muchas aplicaciones es establecido por él mismo usuario pudiendo desencadenar un problema de salud adicional. Un número menor de aplicaciones se orientan al seguimiento del peso del usuario a través de la captura periódica de su peso, y otra información indicando si se está o no progresando en el logro de las metas establecidas. Al igual que en el caso anterior, dichas metas son precisadas por el mismo usuario o por valores proporcionados por la aplicación, basados en tablas que no indican sus orígenes lo cual nuevamente representa un riesgo para la salud, generando resultados contraproducentes.

Con el fin de contribuir en la reducción de esta brecha se pretende identificar las características principales de una aplicación para el monitoreo de la obesidad a partir de

un estudio comparativo entre las aplicaciones (orientadas a este fin) más populares en Google Play Store. Las características encontradas ayudarán a determinar que se puede mejorar conformando un conjunto de elementos esenciales los cuales podrán materializarse finalmente en un prototipo. Ambas contribuciones se describen en las siguientes secciones.

### 3 Estudio comparativo

Con el fin de establecer el punto de partida de esta investigación, se realizó un estudio comparativo en el que se consideraron las 5 aplicaciones mejor valoradas, de acuerdo a las estadísticas mostradas por el repositorio Google Play Store, tras realizar la búsqueda interna “control de peso”. Cabe mencionar que la búsqueda generó un total de 240 aplicaciones encontradas aproximadamente.

Las aplicaciones seleccionadas para el estudio fueron: 1) Monitorea tu peso (<https://play.google.com/store/apps/details?id=monitoryourweight.bustan.net>); 2) Control de peso (<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.angel.weightcontrol>); 3) Perder peso, adelgazar, IMC (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cryofy.android.weightmeterfree>); 4) Peso asistente (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ikdong.weight>); 5) Peso diary (<https://play.google.com/store/apps/details?id=weight.manager>). Llama la atención que ninguna de estas aplicaciones fue desarrollada (o está respaldada) por un hospital, institución o especialista. Otro aspecto importante de las aplicaciones analizadas, es que prácticamente ninguna fundamenta sus resultados/diagnósticos presentados al usuario. Adicionalmente, las aplicaciones seleccionadas reflejaban claramente (en diferentes proporciones) los aspectos problemáticos descritos en la sección 2 de este documento. Relacionado con esto, los resultados mostrados en cada una de las aplicaciones analizadas dejan la conclusión e interpretación de dicha información a criterio del usuario lo cual puede generar confusiones y malas interpretaciones desembocando muy probablemente en problemas de salud mayores.

A continuación se describen las características principales que fueron encontradas en las aplicaciones analizadas. Solo dos de ellas no tienen soporte multiusuario (Peso asistente y Peso diary), sin embargo, esta funcionalidad puede descartarse en el desarrollo de aplicaciones de e-health, ya que los dispositivos móviles por lo general son dispositivos personales. La mayoría de las aplicaciones seleccionadas, permiten el cálculo del IMC (Índice de Masa Corporal) del usuario y cálculo del porcentaje de grasa corporal, cuentan también con una opción que permite guardar el resultado o diagnóstico obtenido para su posterior consulta. Varias de estas aplicaciones muestran al usuario consejos o dietas para alcanzar un peso “ideal” definido por él, estas aplicaciones son Monitorea tu peso, Control de peso y Perder peso, adelgazar, IMC; por lo que incluyen funciones que invitan a los usuarios a capturar su peso de manera periódica (diaria o semanal), además del uso de gráficas para mostrar el “progreso” obtenido para alcanzar el peso deseado.

Varias de estas aplicaciones incluyen publicidad dentro de las interfaces de usuario, lo cual aparte de distraer al usuario del objetivo principal de la aplicación, también impacta en el número de descargas total, donde la aplicación que cuenta con el mayor número es Perder peso, que se encuentra en el rango de 1,000,000 a 5,000,000 millones de descargas totales, seguida de Monitorea tu peso, que se encuentra dentro del rango de 500,000 a 1,000,000 descargas, las aplicaciones con el menor número son Peso asistente y Peso diary, lo cual las sitúa en el rango de 100,000 a 500,000 descargas.

El análisis realizado, permitió identificar varios aspectos de mejora que pueden integrarse en las siguientes características básicas para una aplicación de e-health para obesidad (y que sin duda podrías ser válidas para otras áreas de salud) son: 1) *Tamaño relativamente pequeño*, no debe pesar demasiados Mb ya que no resultará atractivo para un usuario descargar una aplicación “pesada”, 2) *Exenta de publicidad*, las aplicaciones de e-health no deben contener publicidad, ni cualquier otro distractor que desvíe la atención del objetivo original de la aplicación, 3) *Respaldo científico*, al tratar temas delicados de salud, debe de haber un estudio científico por profesionales en el área, que permita generar un diagnóstico adecuado a la condición de cada usuario; esto se debe indicar en la ficha de Google Play, 4) *Ser gratuita*, ya que el objetivo principal de este tipo de aplicaciones es mejorar la calidad de vida de los usuarios que las utilizan, finalmente 5) *Debe contener solo los elementos necesarios*, es decir, debe ser una interfaz limpia que emplea solo los elementos necesarios para su funcionamiento.

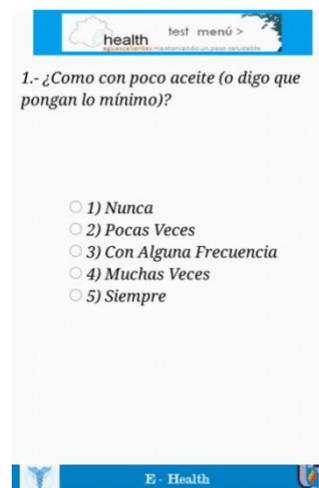
#### **4 Prototipo generado a partir de las características identificadas**

Las características arrojadas por el análisis fueron integradas en un prototipo de una aplicación “*Monitoreo de Obesidad*” la cual se dispuso en Google Play Store (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mipaquete.prototipo1&hl=es>). El prototipo se compone de un módulo para la aplicación del cuestionario de hábitos alimenticios, otro para el cálculo del IMC- *Estos cálculos se basan en la Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012 [7]. Cabe mencionar que esta norma fue elaborada por distintas unidades administrativas e instituciones del Sector Salud Mexicano con el fin de establecer las pautas hacia una alimentación saludable y adecuada con estricto apego a los criterios de la OMS (Organización Mundial de la Salud) válidos para la población mundial* - . La información obtenida en estos módulos, es la base del diagnóstico que se le proporciona al usuario, el cual posteriormente se almacena en una base de datos local y finalmente se muestran una serie de (semi-personalizados) consejos con base al diagnóstico generado que lo orientan hacia un estilo de vida más saludable.

El cuestionario utilizado consta de 36 preguntas que permiten conocer los hábitos alimentarios del paciente, dichas preguntas están clasificadas en tres grupos que son: 1) Hábitos alimenticios, 2) Actividad física y 3) Estado de ánimo. Un aspecto considerado para la elección de este cuestionario es, que a través de las preguntas realizadas se obtiene

información sobre el consumo de azúcar en la dieta, incluso sobre el tipo de alimentos que frecuentemente consumen los usuarios con obesidad. Además, el cuestionario empleado, permite identificar de manera más precisa el estado de salud de un usuario ya que considera factores como el consumo de azúcar, alimentación saludable, ejercicio físico, contenido calórico, bienestar psicológico, tipo de alimentos, conocimiento y control y por ultimo consumo de alcohol [8]. Se optó por elegir este cuestionario, ya que es fácil de implementar dentro de una aplicación para dispositivos móviles, permite establecer una valoración inicial sobre el estado de salud del usuario, la cual complementa los tratamientos preventivos tradicionales para el cuidado de la obesidad y el sobrepeso.

Al implementar el cuestionario dentro de una aplicación en Android, se realizó teniendo en cuenta las características propuestas para el desarrollo de aplicaciones de e-health, por lo que la interfaz de usuario incluye imágenes alusivas al tema de salud, se muestra la pregunta y las opciones disponibles para su respuesta, en la figura 1, se puede apreciar un prototipo de la pantalla a utilizar.



**Fig. 1.** Pantalla de las interfaz de Monitoreo de Obesidad.

Las interfaces del cuestionario, contienen solo los elementos necesarios para que el usuario responda con tranquilidad cada uno de las preguntas que se le presentan, sin publicidad de ningún tipo que lo distraiga del objetivo original de esta aplicación, que en este caso es el diagnostico preventivo. Una vez que ha concluido el cuestionario se pide al usuario que ingrese su altura y su peso, para poder calcular su IMC. Como se mencionó anteriormente la información de estos dos módulos, constituye la base del resultado que se muestra al usuario. En caso de que el usuario cuente con algún diagnostico anterior, este se obtiene de la base de datos local, y se compara con el diagnostico actual, esto se realiza

para mostrar si ha habido alguna mejoría en los hábitos alimenticios del usuario, en la figura 2 se muestra el prototipo de la pantalla de resultados.

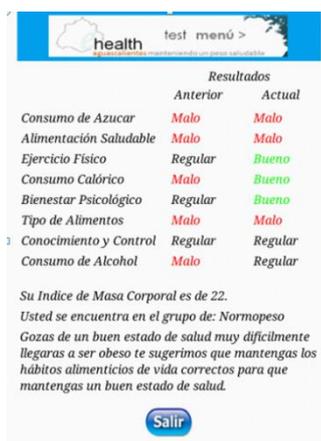


Fig. 2. Diagnóstico del estado de salud.

El diagnóstico que se muestra en la figura anterior se conforma de los resultados del último diagnóstico disponible y el actual, donde para cada uno de los factores de riesgo anteriormente mencionados se acompañan de una leyenda “Bueno”, “Regular” o “Malo”, la cual se obtiene de comparar el valor obtenido para cada uno de ellos contra el valor ideal como se menciona en [8]. Posteriormente se presenta en la siguiente línea el valor del IMC del usuario, indicando además el grupo donde se encuentra y un mensaje semi-personalizado de acuerdo a esta valoración inicial.

Con los resultados obtenidos, se determinan los consejos que se mostraran al usuario, enfocándose primero en combatir aquellos factores de riesgo con la leyenda “Malo”, ya que son los que tienen mayor prioridad, y a los cuales el usuario debería prestar mayor cuidado; los factores de riesgo con la leyenda “Regular” son consejos que invitan al usuario a cambiar la ingesta de alimentos fritos, por alimentos a la plancha, por mencionar un ejemplo, pues son cambios menores los que debe realizar el usuario en su dieta para atender los factores de riesgo correspondientes. Por último, los consejos que se muestran para los factores de riesgo con la leyenda “Bueno”, buscan fortalecer esos hábitos donde el usuario no tiene aparentemente ningún problema por lo detectado en la valoración inicial, dichos consejos son de carácter informativo y de acuerdo a lo recomendado por la Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012.

Es importante mencionar, que tanto la valoración inicial como los consejos de salud que se muestran al usuario, en ningún momento pueden reemplazar el diagnóstico médico realizado por alguna institución de salud o un especialista; por el contrario, a través de su

uso en dispositivos móviles se busca que sirvan para complementar el tratamiento tradicional contra la obesidad y el sobrepeso.

## 5 Resultados

Los datos que se presentan en esta sección, fueron obtenidos a través de la consola para desarrolladores de Google, la cual permite dar un seguimiento adecuado sobre la aceptación y distribución de la aplicación, permite conocer las instalaciones actuales, instalaciones en total desde que la aplicación fue publicada, valoración media, comentarios de los usuarios, etc.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación Monitoreo de Obesidad se distribuye gratuitamente en todos los países donde Google Play tiene presencia, como se puede apreciar en la figura 3, lo cual ha permitido que esta aplicación sea probado por usuarios de México, España, Argentina, Chile, Colombia, etc.



Fig. 3. Países donde se ha descargado la aplicación Monitoreo de Obesidad.

La aplicación Monitoreo de Obesidad, fue publicada por primera vez en Octubre de 2013, y a la fecha se han liberado dos versiones la aplicación para reparar errores menores en el funcionamiento y la interfaz de usuario, siendo la versión actual Monitoreo de Obesidad 1.2, publicada el 9 de Febrero de 2014. A principios del mes de Julio del año en curso se cuentan con las siguientes estadísticas: la aplicación ha sido descargada un total de 492 ocasiones y se encuentra activa en 61 dispositivos; cuenta con una valoración de 4.17 estrellas de un máximo de 5.

Existen aplicaciones disponibles que son de gran aceptación entre los usuarios, lo cual las posiciona entre los primeros lugares de descarga, sin embargo, la mayoría de estas aplicaciones pueden mejorarse con las características mencionadas anteriormente, para construir aplicaciones de familia, donde la información, diagnósticos y/o consejos que se

muestran al usuario sean respaldados por instituciones de salud o especialistas y aun así sean de utilidad para el tratamiento y diagnóstico de distintos padecimientos.

## **6 Conclusiones y trabajo futuro**

Durante este trabajo de investigación, se identificaron las características básicas que pudieran considerarse para el desarrollo de aplicaciones de e-health para obesidad, además se mencionó la importancia de que los resultados, diagnósticos y/o consejos que se muestran al usuario, deben contar con el respaldo de una institución de salud o bien por especialistas en el área, ya que al tratar temas relacionados con la salud, se debe tener cuidado con el tratamiento y la forma en que se hace llegar la información al usuario.

Los resultados obtenidos hasta el momento para la aplicación Monitoreo de Obesidad (ver en <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mipaquete.prototipo1>), utilizando las características propuestas para el desarrollo de aplicaciones de e-health, hacen que esta aplicación se encuentre catalogada en el rango de 100 a 500 descargas dentro de Google Play, es importante mencionar que la aplicación se distribuye gratuitamente en todos los países donde tiene alcance Google Play, lo que ha permitido que se tenga una calificación aceptable de 4.17 estrellas de un máximo de 5, sin errores o fallos reportados hasta el momento esto de acuerdo a lo reportado por la consola de desarrolladores de Google.

Si bien, los resultados actuales son aceptables, se pretende realizar varias mejoras a la aplicación para aumentar el número de descargas y situarla dentro de las aplicaciones mejor valoradas y descargadas para el tratamiento de la obesidad. Entre las mejores a implementar en el corto plazo son mostrar consejos de salud de acuerdo a lo mencionado en la sección 4 de este trabajo de investigación, con lo que se espera que la aplicación actual sea de utilidad para el usuario, le permita dar un seguimiento real sobre su estado de salud y se convierta así, en una herramienta de apoyo entre especialistas para los tratamientos tradicionales de la obesidad y el sobrepeso.

## **Referencias**

- [1] Franco S.: Obesity and the Economics of Prevention: Fit not Fat. Organization for the Economic Cooperation and Development (OECD publishing); (2010)
- [2] Franco S.: Obesity Update 2012. Organization for the Economic Cooperation and Development (OECD publishing); (2012)
- [3] Plan de Acción Mundial para la Prevención y Control de las Enfermedades no Transmisibles 2013-2020, OMS. Disponible en: [http://who.int/cardiovascular\\_diseases/15032013\\_updates\\_revised\\_draft\\_action\\_plan\\_spanish.pdf](http://who.int/cardiovascular_diseases/15032013_updates_revised_draft_action_plan_spanish.pdf)

- [4] OMS (2006) Organización Mundial de la Salud. Obesidad y sobrepeso. Nota descriptiva no. 311 [en línea]. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/index.html>, (2012)
- [5] Pew Internet & American Life Project. Internet, broadband, and cell phone statistics; Recuperado de: <http://www.pewinternet.org/Reports/2010/Internet-broadband-and-cell-phone-statistics.aspx?r=1>, (2010)
- [6] Ventä L, Isomursu M, Ahtinen A, Ramiah S.: My Phone is a part of my soul – how people bond with their mobile phones. In: Proc UbiComm '08. IEEE Computer Society; p. 311–7, (2008)
- [7] NOM-043-SSA2-2012, Servicios básicos de salud. Promoción y educación de salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación. (FUENTE: Diario Oficial de la federación de fecha 28 de Mayo de 2012)
- [8] Castro Rodríguez P, Bellido Guerrero D, Pertega Díaz S.: Elaboración y validación de un nuevo cuestionario de hábitos alimentarios para pacientes con sobrepeso y obesidad. *Endocrinol Nutr* 2010; 57 (4): 130-139, (2010)

# Sistema de apoyo para la localización de menores de edad desaparecidos utilizando dispositivos móviles

Luis Roberto Conde-Salinas, Jorge Fernando Ambros-Antemate, María del Pilar Beristain-Colorado

Escuela de Ciencias, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México  
{condesitho,jfambros}@gmail.com, berisp@hotmail.com

**Resumen.** El gran avance tecnológico que han tenido los dispositivos móviles en los últimos años ha permitido un incremento en el número de usuarios, esto presenta un nuevo escenario para el desarrollo de aplicaciones. Hoy en día estos dispositivos son capaces de procesar una mayor cantidad de información, lo que permite utilizar arquitecturas que antes estaban solo disponibles para aplicaciones de computadoras personales. Este artículo propone una aplicación basada en una Arquitectura Orientada a Servicios (SOA, Service-oriented Architecture) utilizando servicios Web, que permita el envío de información de menores de edad desaparecidos a dispositivos móviles para que la ciudadanía ayude en su pronta recuperación.

## 1 Introducción

Ante la necesidad de brindar mayor protección a los niños, niñas y adolescentes que se encuentren en riesgo inminente de sufrir daño grave a su integridad personal, ya sea por motivo de ausencia, desaparición, extravío, la privación ilegal de la libertad, los gobiernos de varios países en el mundo han implementado medidas de seguridad y difusión para su búsqueda y localización. Es en este sentido, que se requieren nuevas formas para difundir alertas de menores de edad desaparecidos para abarcar una mayor cantidad de personas para que auxilien en la pronta recuperación.

Gracias a que actualmente se ha incrementado el número de dispositivos de comunicación móvil, esto abre un panorama para desarrollar aplicaciones que permitan difundir información a potenciales usuarios, ahora no solo se cuenta con la comunicación por voz, también se tiene la ventaja de enviar y recibir datos gracias a las características que ofrecen las actuales redes en la que se encuentran estos dispositivos, entre las ventajas que ofrecen estos se encuentran [1]: (1) **Ubiquidad**, es una de las principales ventajas, los usuarios obtiene información en la que están interesados a cualquier hora y en cualquier lugar donde tengan cobertura con acceso a Internet, (2) **Accesibilidad**, a través de los

dispositivos móviles los proveedores de servicios tienen un mayor poder de difusión de información, ya que cuentan con los datos de sus clientes, (3) **Localización**, las aplicaciones desarrolladas con localización ofrecen nuevas posibilidades, al conocer la ubicación de un cliente es posible ofrecer nuevos servicios, como mostrar información en la cual estén interesados.

Para mejorar este tipo de aplicaciones las plataformas de desarrollo juegan un papel importante al adaptar nuevas formas de acceso a datos, como son los servicios Web, los cuales ofrecen una completa interoperabilidad entre las aplicaciones utilizando estándares abiertos, esto permite que el servidor envíe los datos a las aplicaciones móviles clientes y viceversa. Basado en lo anterior, este artículo propone una aplicación que sirva de apoyo para el envío de alertas que ayuden a la localización de menores desaparecidos basada en una Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) utilizando servicios Web.

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: la sección 2 presenta una introducción a la alerta AMBER, utilizada actualmente para difundir información de menores desaparecidos, la sección 3 describe la arquitectura en la cual se basa la aplicación móvil, la sección 4 presenta la implementación de la arquitectura, en la sección 5 se muestra el prototipo de aplicación con un caso de estudio que describe su funcionalidad, la sección 6 presenta trabajos relacionados con la implementación de una SOA en aplicaciones para dispositivos móviles. Finalmente, la sección 7 presenta las conclusiones de este artículo.

## 2 Alerta AMBER

El sistema de alerta AMBER inició en 1996 cuando las emisoras del área de Dallas desarrollaron el concepto de utilizar el Sistema de Alerta de Emergencias (Emergency Alert System, EAS) en conjunto con la policía local para transmitir información rápidamente en casos de secuestro de niños. La palabra AMBER se deriva de America's Missing: Broadcast Emergency Response y fue creada en memoria de Amber Hagerman, una niña de 9 años secuestrada mientras montaba en bicicleta en Arlington, Texas, posteriormente fue encontrada asesinada[2].

El concepto en el cual se basa este programa es sencillo: cuando la policía notifique a los medios de comunicación el secuestro de un niño, el público televidente y radioyente recibirá una notificación a través de avisos emitidos con toda la información que esté disponible para que éste proporcione los ojos y oídos adicionales que aumentan la probabilidad de captura del secuestrador del niño antes de que hayan transcurrido las primeras tres horas críticas [3].

En México a partir del 2 de mayo de 2012 el Gobierno Federal, implementó y puso en funcionamiento el Programa Nacional Alerta AMBER, para la búsqueda y localización de niñas, niños, que se encuentren en riesgo inminente de sufrir daño grave a su integridad personal, con la puesta en marcha de esta plataforma, México se convierte en el décimo

país a nivel mundial, y el primero en América Latina en adoptar el Programa Alerta AMBER. Para su difusión actualmente se utilizan algunos medios de comunicación, como son la televisión, radio, páginas Web, sin embargo, se requieren otras formas de difusión para abarcar a un mayor número de personas que estén enteradas cuando ocurre un suceso de este tipo, de esta forma, al contar con un más personas notificadas, se incrementa la posibilidad de recuperación de los menores.

### **3 Arquitectura orientada a servicios**

SOA establece una arquitectura cuyo objetivo es aumentar la eficiencia, agilidad y productividad de servicios en una empresa, un servicio permite exponer las soluciones y es la unidad fundamental de un diseño orientado a servicios, estos elementos son piezas de software independientes, cada uno de ellos con distintas características y funcionalidades [4].

SOA es una combinación de consumidores y servicios que trabajan en conjunto, es guiada por principios y soporta diversos estándares [5]. A diferencia de los sistemas de información tradicionales los cuales tienen los procesos de negocios incrustados, SOA separa esos procesos y los organiza en módulos individuales, esto permite que estén disponibles además para otras aplicaciones.

El principio clave de una arquitectura SOA es el “proceso de abstracción”, esto permite que la ejecución, administración y los cambios en los procesos sean manejados directamente a nivel de negocios de una forma más fácil [6]. Actualmente los dispositivos móviles han incrementado su poder de procesamiento y memoria, esto ha abierto un panorama para el desarrollo de aplicaciones utilizando una SOA mediante el uso de servicios Web.

Las aplicaciones desarrolladas utilizando una arquitectura orientada a servicios, proveen los siguientes beneficios:

1. Utilizan estándares como XML (eXtensible Markup Language), WSDL (Web Services Description Language) y SOAP (Simple Object Access Protocol), lo anterior asegura la interoperabilidad entre los diferentes servicios y las aplicaciones que interactúan entre sí.
2. Los protocolos de comunicación utilizados por los servicios Web son independientes del sistema operativo, plataforma y lenguajes de programación.
3. Los servicios al ser débilmente acoplados permiten que las aplicaciones que los utilicen sean fácilmente escalables, ya que existe una pequeña dependencia entre estos elementos.
4. Existen una alta reutilización de los servicios Web, al ser elementos individuales, cada uno de ellos está disponible para ser utilizando en otro tipo de aplicaciones.

Tomando las ventajas que ofrece una SOA, en la siguiente sección se presenta la implementación de la arquitectura en el desarrollo de la aplicación móvil.

## 4 Arquitectura de la aplicación

La propuesta es implementar una SOA mediante servicios Web para permitir el intercambio de información, de esta forma, cada capa de la arquitectura provee un servicio que es utilizando por la capa adyacente. La figura 1 muestra los componentes.

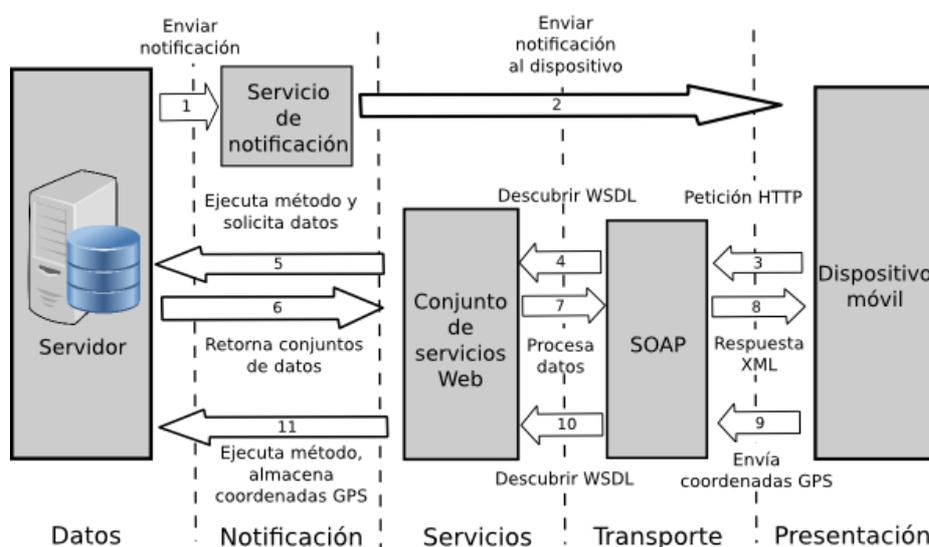


Fig. 1. Arquitectura en capas propuesta para la aplicación.

Las capas y su implementación son descritas a continuación:

**Datos:** Esta capa es la responsable de almacenar la información referente a los menores reportados como desaparecidos, para la captura de los datos se utiliza una aplicación Web, también almacena los identificadores de los dispositivos que se han registrado, para implementar esta capa se utiliza un servidor MySQL.

**Notificación:** Se encarga de enviar un mensaje de notificación a los dispositivos que se han registrado en el sistema, la notificación contiene una clave que identifica a un menor desaparecido, para implementar el servicio de notificación se utiliza un servidor externo: Google Cloud Messaging [7][8].

**Servicios:** Capa responsable de contener los servicios Web, estos son los encargados de realizar todas las transacciones de negocio y exponer las funcionalidades del sistema. Cada servicio Web utiliza estándares para asegurar interoperabilidad entre las aplicaciones: XML como formato estándar para los datos, SOAP es el protocolo utilizado para el intercambio de datos y WSDL para describir las interfaces públicas de los servicios.

**Transporte:** Se utiliza para administrar los servicios Web mediante el protocolo SOAP, las reglas de negocio están implementadas en el lenguaje de programación PHP, utilizan un grupo de clases específicas para el tratamiento de SOAP.

**Presentación:** Capa responsable de administrar el flujo de datos hacia el usuario, la aplicación consiste en un cliente ligero que interactúa con el proveedor de servicios, las aplicaciones móviles se diseñan con el patrón Modelo – Vista – Controlador (MVC), donde el Modelo es el encargado de manejar todas las solicitudes realizadas por el Controlador (el responsable de procesar los datos obtenidos de las funciones), finalmente los datos son presentados al usuario en las Vistas.

La funcionalidad de la aplicación se describe a continuación:

**Paso 1:** Una vez capturada la información del menor desaparecido en el servidor, se envía una notificación al servicio de notificación.

**Paso 2:** El servicio de notificación envía a uno o varios dispositivos (ya sea por uno o varios estados de la república mexicana) una cadena alfanumérica que representa la clave del menor desaparecido.

**Paso 3:** Una vez recibida la clave en el dispositivo, se realiza una petición HTTP utilizando la implementación SOAP del cliente, se especifica la URL de la ubicación del documento WSDL.

**Paso 4:** El cliente SOAP descubre en el servidor el documento WSDL que contiene el método solicitado por la aplicación.

**Paso 5:** El servidor recibe la petición mediante el protocolo SOAP, la lógica del negocio procesa la solicitud y ejecuta el método correspondiente.

**Paso 6:** El servidor de base de datos recibe la petición, la procesa y retorna los datos al método que lo solicitó.

**Paso 7:** Los datos obtenidos del servidor de base de datos son procesados e implementados en el método de la lógica de negocios y enviados mediante el protocolo SOAP.

**Paso 8:** El cliente SOAP obtiene los datos del menor desaparecido mediante un documento XML, se extrae el contenido para que sea visualizado en el dispositivo móvil.

**Paso 9:** En caso de tener información de la ubicación del menor desaparecido, se obtienen las coordenadas GPS del dispositivo móvil y se envían por medio del protocolo SOAP al servidor.

**Paso 10:** Se descubre en el servidor el documento WSDL mediante su URL.

**Paso 11:** Se ejecuta el método y almacenan las coordenadas GPS, en el servidor se emite una notificación con la información recibida para mostrar en el mapa la ubicación recibida por el usuario.

Otras características de la aplicación son las siguientes:

- Permite consultar las notificaciones históricas (solo de los menores que no se han localizado aún).
- En caso de no contar con una conexión a Internet la aplicación almacena de manera local en una base de datos la información de los menores, esto permite que los usuarios consulten los datos sin necesidad de contar con una conexión activa.
- Si se tiene información del menor y no se tiene conexión a Internet, el usuario tiene la opción de realizar una llamada telefónica, enviar mensaje de texto o almacenar de manera interna las coordenadas, para que estas últimas sean enviadas al servidor cuando se cuente con el acceso a Internet.

En la siguiente sección se presenta un caso de estudio, donde se muestra la funcionalidad de la aplicación.

## **5 Caso de estudio**

El siguiente caso de estudio muestra un prototipo de la aplicación móvil desarrollada en la plataforma Android, la aplicación recibe la notificación de alerta, se revisa en el dispositivo móvil los datos del menor, si el usuario obtiene información del menor desaparecido, envía la posición al servidor para mostrar la ubicación mediante un marcador en un mapa.

El proceso inicia cuando el servidor envía una notificación a los clientes registrados en el sistema mediante el servidor externo Google Cloud Messaging, la notificación contiene una clave que identifica los datos del menor desaparecido, la figura 2 (a) muestra la pantalla, esta notificación se realiza por uno o varios estados de la república mexicana, al momento de abrir la notificación en el dispositivo, el cliente SOAP realiza una petición HTTP mediante la URL del servidor que contiene la dirección del documento WSDL, se establece la comunicación con la lógica del negocio y se ejecuta el método solicitado, se obtienen los datos de la base de datos y se construye la respuesta la cual es enviada al cliente utilizando un servicio Web mediante una representación en XML.

Finalmente el cliente obtiene los datos, los separa y los muestra en las vistas, la figura 2 (b) muestra el resultado, donde se presenta la información detallada del menor.

Si el cliente obtiene información del menor desaparecido, dentro de la aplicación tiene la opción de establecer una llamada, enviar mensaje de texto o una ubicación más específica, para esto último se obtienen las coordenadas GPS del dispositivo y son enviadas al servidor, la figura 3 (a) muestra esta pantalla.

Recibidas las coordenadas en el servidor, estas se almacenan en la base de datos y se presenta en el mapa un marcador con la dirección aproximada donde el usuario obtuvo información del menor desaparecido, la figura 3 (b) presenta la pantalla con el mapa y el marcador.

La aplicación ofrece una nueva forma de apoyar en la localización de un menor, ya que los clientes móviles al recibir notificaciones obtienen información importante, además se tiene la opción de notificar de diferentes maneras a las instancias correspondientes para la pronta recuperación del menor desaparecido.



Fig. 2. (a) Notificación en el dispositivo móvil, (b) pantalla con información del menor desaparecido.

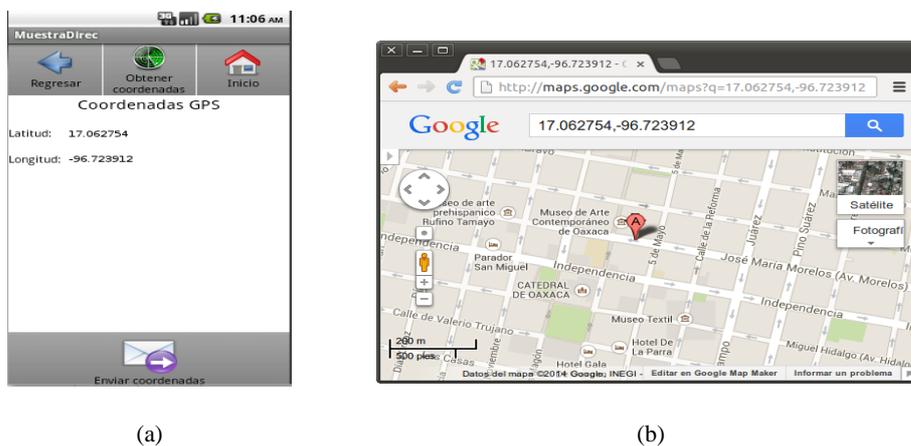


Fig. 3. (a) Obtención de las coordenadas donde se obtuvo información del menor desaparecido, (b) mapa en el servidor que muestra las coordenadas GPS.

## **6 Trabajos relacionados**

A continuación se presentan trabajos relacionados con el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles utilizando una SOA. En [9] se presenta un artículo de una aplicación basada en contexto de situaciones de riesgo, dependiendo del tipo de situación que se presenta, se envían los datos a los departamentos de emergencia correspondientes, estos últimos envían la ayuda con el equipo que se requiere para el problema que se presenta, para el envío de información a los departamentos de emergencia se utilizan servicios Web. En [10] se realiza un análisis de una arquitectura basada en servicios Web para dispositivos móviles, utilizando J2ME Web Services API para permitir el uso del protocolo SOAP y acceder a los servicios Web.

En [11] se desarrolla una aplicación basada en una SOA, servicios Web y posicionamiento para ofrecer a los turistas información del sitio donde se encuentran, utiliza también realidad aumentada e información adicional proporcionada por otros proveedores de servicios. En [12] se presenta la propuesta de una SOA para una aplicación móvil que permite la recuperación de datos de información criminal, para esto el sistema accede a la información de la escena del crimen desde múltiples servidores, la información es presentada en el dispositivo móvil mediante texto, gráficos, multimedia y características del lugar, el sistema permite también el intercambio de información con los servidores de diversas instituciones de seguridad.

## **7 Conclusiones**

Este artículo presenta una aplicación basada en una Arquitectura Orientada a Servicios, la cual provee otra forma de difusión de alertas de menores desaparecidos a usuarios de dispositivos móviles, todo el envío y recepción de información se realiza mediante la invocación de servicios Web utilizando el protocolo SOAP, la implementación del servidor y del cliente se realizó utilizando bibliotecas de funciones de libre distribución, como las clases de manejo SOAP, el lenguaje de programación PHP, en el caso del cliente móvil desarrollado se utiliza la biblioteca de funciones ksoap.

Con el desarrollo de este tipo de aplicaciones utilizando las tecnologías anteriores y gracias al incremento de usuarios con dispositivos móviles en todo el país, se espera abarcar un mayor número de personas que ayuden a la pronta recuperación de un menor desaparecido, en el momento en que se active la alerta, todos los dispositivos registrados recibirán una notificación para que las personas se conviertan en una extensión más de las autoridades, ya que al contar con ayuda por parte de la ciudadanía se incrementa el número de actores involucrados en este tipo de programas, por lo que también se aumentan las

posibilidades de encontrar a los menores para salvaguardar su integridad y retornarlos a sus familiares.

## **Referencias**

1. Lim E. Siau K.: *Advances Mobile Commerce Technologies*. United States of America: Idea Group Publishing. (2003)
2. AMBER alert: About AMBER Alert. [en Web]. Disponible en: <http://www.amberalert.gov/about.htm>. Date of consultation: (mayo 2014)
3. La Alerta AMBER – Guía de las mejores prácticas para radiodifusores y otros medios de comunicación (Spanish Version). [on Web]. Available: <https://www.ncjrs.gov/html/ojjdp/amberalert/209519/pg2.html>
4. Erl Thomas: *SOA, Principles of Service Design*: Prentice Hall. (2007)
5. Bean J. *SOA and Web Services Interface Design*. United States of America: Elsevier Inc. (2010)
6. Fernández J., Surroca A.: *Cómo reformular la Arquitectura Corporativa para alcanzar el alto Rendimiento*. Centro de Alto rendimiento: (2008)
7. Wang Ke-feng: *The Design and Implementation of Information Push and Management System Based on Android*. (2012)
8. Penghui Li: *Implementation of Cloud Messaging System Based on GCM Service*. Computational and Information Sciences (ICCIS), 2013 Fifth International Conference. (2013)
9. Romsaiyud, W., Premchaiswadi, W.: *SOA context-aware mobile data model for emergency situation*. Knowledge Engineering, 2010 8th International Conference on ICT.
10. Tergujeff T., Haajanen J., Leppänen J., Toivonen R.: *Mobile SOA: Service Orientation on Lightweight Mobile Devices*. 2007 IEEE International Conference on Web Services. (2007).
11. Paganelli F., Parlanti D., Francini N., Giuli N.: *A SOA-Based Mobile Guide to Augment Tourists' Experiences with User-Generated Content and Third-Party Services*, *iciw*, pp.435-442, 2009 Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services, (2009)
12. Khemprasit, J., Esichaikul, V.: *SOA-based framework for mobile crime analysis and monitoring*, *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, (2014)



# La tecnología NFC en teléfonos celulares, sus retos y aplicaciones

A. Anaya-Cantellán, I. López-Martínez  
Instituto Tecnológico de Orizaba  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Orizaba, Ver., México  
*alejandra\_anaya@acm.org, ilopez@ito-depi.edu.mx*

**Resumen.** Actualmente los teléfonos celulares forman parte importante de la vida diaria, ya que además de ser un medio de comunicación efectivo, tienen la capacidad de brindar diversos servicios gracias a la variedad de aplicaciones que poseen. Entre las características novedosas incorporadas en algunos teléfonos celulares se encuentra la tecnología de comunicación de campo cercano (NFC-Near Field Communication) la cual permite el intercambio de datos entre dos dispositivos que se encuentren habilitados con dicha tecnología de manera fácil y rápida. Además gracias a las características de la tecnología NFC actualmente se han desarrollado una gran variedad de aplicaciones que anteriormente no eran posibles de implementar. El objetivo del presente artículo es presentar los conceptos básicos de la tecnología NFC las ventajas que implica utilizarla y las aplicaciones en las que actualmente se está empleando. Asimismo se discuten los retos que dicha tecnología enfrenta hoy en día.

**Palabras clave:** NFC, etiquetas NFC, aplicaciones NFC, RFID, retos NFC.

## 1 Introducción

En la actualidad es de gran importancia que los sistemas informáticos posean la característica de facilidad de uso, ya que automatizan gran parte de las actividades cotidianas. NFC satisface esta necesidad al brindar al usuario una manera intuitiva de utilizar tecnología.

La comunicación de campo cercano (NFC- *Near Field Communication*) es una integración de las tecnologías RFID, tarjetas inteligentes y de comunicación inalámbrica. Opera a los 13.56 MHz y transfiere datos a una velocidad de 424 Kbits por segundo, lo que significa que está diseñada para transmitir pequeñas cantidades de información a una alta frecuencia. El funcionamiento de NFC es bastante sencillo ya que únicamente intervienen 2 dispositivos; el que inicia la comunicación, llamado “iniciador” y el que responde, denominado “objetivo”. El intercambio de información se inicia cuando los dispositivos se acercan uno con el otro a una distancia mínima de 10 cm. La principal aplicación de NFC es realizar pagos con teléfonos celulares, sin embargo actualmente se

está utilizando en un amplio rango de áreas tales como, educación, medicina, publicidad, control de accesos, identificación y control de activos, por mencionar algunos [1].

Desde el año 2005 se comenzaron a realizar proyectos de prueba para realizar pagos con móviles utilizando la tecnología NFC, sin embargo fue hasta el 2009 cuando se incrementó significativamente el desarrollo de aplicaciones NFC, ya que se realizaron proyectos en el área de NFC al menos en 38 países con resultados exitosos [2].

Es importante estar a la vanguardia con las tecnologías que van surgiendo, especialmente con este tipo de tecnología, la cual permite lograr una interacción simple entre el mundo real y el mundo digital utilizando etiquetas y un teléfono celular; además reduce la necesidad de portar demasiados objetos que se utilizan diariamente tales como tarjetas inteligentes, llaves y *tickets*. Debido a la gran cantidad de aspectos en los que se puede aplicar NFC, facilidad de uso y compatibilidad con otras tecnologías: 1) Tarjetas inteligentes, 2) RFID (Identificación por Radiofrecuencia- Radio Frequency Identification), 3) Comunicación inalámbrica; muchas organizaciones y compañías han vislumbrado el gran potencial de NFC [3].

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se describen los conceptos más importantes de la tecnología NFC, posteriormente en la sección 3 se presentan brevemente algunos trabajos relacionados, y finalmente en la sección 4 se discuten los retos que tiene NFC ya que al ser una tecnología relativamente nueva existen diversos aspectos que debe superar para llegar a ser ampliamente utilizada.

## 2 Conceptos

En esta sección se describen los conceptos más importantes para lograr una mejor comprensión del presente artículo.

### 2.1 NFC

NFC surgió en el año 2002, fue creada por la compañía Sony Philips con el objetivo de realizar comunicaciones inalámbricas, sin embargo fue hasta a principios del año 2009 cuando la tecnología comenzó a ser más utilizada debido a su integración en teléfonos celulares [3].

El objetivo de la tecnología NFC es brindar la posibilidad al usuario de interactuar con otras tecnologías existentes de una manera más natural, es decir, que no necesite realizar configuraciones para utilizarla y otorgar la experiencia de encontrarse en un ambiente intuitivo, además de otorgar la ventaja evidente de movilidad al estar integrado en un dispositivo que se utiliza ampliamente y es transportado fácilmente.

Una de las características más importantes de la tecnología NFC es que los dispositivos únicamente se comunican a una distancia muy corta, lo cual la hace una tecnología

potencial para el intercambio seguro de datos.

La integración de la tecnología NFC en los teléfonos celulares está incrementando gradualmente, incluso a diversos aparatos electrónicos tales como televisiones, cámaras digitales, bocinas, tabletas y computadoras, entre otros, se les está incorporando dicha tecnología.

Cabe mencionar que NFC es compatible con la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID- Radio Frequency Identification) y de tarjetas inteligentes que hoy en día se utilizan ampliamente para realizar pagos, identificación, control de accesos, entre otras aplicaciones [4].

Existen dos tipos de dispositivos NFC: activos y pasivos. Los dispositivos activos generan su propia energía para comunicarse, por otro lado los pasivos necesitan de la energía generada por un dispositivo activo para establecer comunicación [5].

### **2.1.1 Ventajas NFC**

Las características de la tecnología NFC extienden sus posibilidades de uso y brindan grandes ventajas, algunas de las cuales son:

- Una mayor seguridad en la transferencia de datos, ya que debido a su comunicación de corto alcance (de 4 a 10 cm.) es más difícil que los datos puedan ser interceptados por terceras personas.
- La comunicación entre dispositivos se realiza rápida y fácilmente simplemente acercando los dispositivos, sin necesidad de realizar configuraciones.
- Gracias a sus tres modos de operación (Lectura/Escritura, Punto-a-Punto y Emulación de Tarjeta NFC) la tecnología NFC es aplicable a una extensa variedad de áreas.
- Ofrece una interacción intuitiva a los usuarios finales, especialmente para aquellos que no están acostumbrados a utilizar herramientas tecnológicas complejas. Los usuarios no necesitan tener conocimientos de la tecnología NFC para utilizarla.
- Es compatible con infraestructuras RFID y de tarjetas inteligentes.
- Debido a la integración de la tecnología NFC en los teléfonos celulares es posible explotar las capacidades que proveen los teléfonos móviles junto con las bondades de la tecnología NFC.

### **2.1.2 Aplicaciones de NFC**

El hecho de poseer una tecnología que tiene un extenso número de aplicaciones en un dispositivo móvil, el cual está presente en nuestra vida cotidiana, es una ventaja importante. Algunas de las aplicaciones de la tecnología NFC son [6]:

- Pagos móviles y compra de boletos: Es la más utilizada, permite a los usuarios

realizar pagos en tiendas equipadas con un sistema de ventas NFC y comprar boletos de transporte, conciertos, entradas de cine, entre otras.

- Llaves electrónicas: Permite utilizar dispositivos NFC para abrir puertas y control de acceso.
- Identificación: Para utilizar teléfonos celulares con tecnología NFC en lugar de documentos oficiales de identificación.
- Transferencia de información: Hace posible acceder a la información almacenada en una etiqueta NFC, de igual manera almacenar información en etiquetas NFC.
- Servicios de configuración: La tecnología NFC es capaz de configurar de manera rápida otras tecnologías, por ejemplo Bluetooth.

### **2.1.3 Modos de operación de NFC**

El Forum NFC es una organización que surgió en el año 2004 para promover el uso de la tecnología NFC y desarrollar estándares; entre ellos se encuentran los tres modos de operación de NFC: 1) Modo de lectura-escritura, 2) Modo punto-a-punto y 3) Modo emulación de tarjeta NFC, los cuales extienden las aplicaciones de la tecnología NFC.

El modo de operación de lectura-escritura se lleva a cabo mediante un dispositivo activo y una etiqueta (dispositivo pasivo). Las etiquetas NFC permiten almacenar/obtener datos.

Modo de operación emulación de tarjeta: Se realiza mediante un dispositivo activo NFC y un lector NFC. El dispositivo NFC tiene un comportamiento similar al de las tarjetas inteligentes.

Modo de operación punto-a-punto: Se realiza mediante dos dispositivos activos NFC. Permite el intercambio de datos. Por ejemplo: intercambio de imágenes, información, música, por mencionar algunos [1].

## **2.2 Etiquetas NFC**

Las etiquetas NFC son dispositivos pasivos basados en estándares emitidos por el Forum NFC, las cuales pueden ser una tarjeta de memoria o una tarjeta inteligente con un microprocesador, que guardan/brindan algún tipo de información para ser almacenada/recuperada por dispositivos NFC activos.

Existen 4 tipos de etiquetas NFC:

- Etiqueta tipo 1: Hace posible leer y escribir información en este tipo de etiquetas, sin embargo pueden ser configuradas por el usuario para que únicamente se pueda leer datos de la misma.

- Etiqueta tipo 2: Tienen las mismas especificaciones que las etiquetas tipo 1, no obstante la capacidad de memoria de las etiquetas tipo 2 es mayor a las del tipo 1.
- Etiqueta tipo 3: Son configuradas previamente por el proveedor de las mismas para ser tanto reescritas, de lectura o solo-lectura. La capacidad de almacenamiento es variable.
- Etiqueta tipo 4: Al igual que las etiquetas tipo 3, son configuradas previamente para tener capacidades de reescritura, de solo-lectura o de lectura; sin embargo, soporta mayor cantidad de almacenamiento de datos que las tipo 3 [7].

### 2.3 Teléfonos celulares con tecnología NFC

El hecho de incorporar la tecnología NFC en los teléfonos celulares ha sido el suceso más importante y práctico porque le brindó movilidad a la tecnología NFC. Actualmente existe una gran variedad de teléfonos celulares incorporados con tecnología NFC cuyos precios son relativamente accesibles aunque varían dependiendo de las características de cada uno.

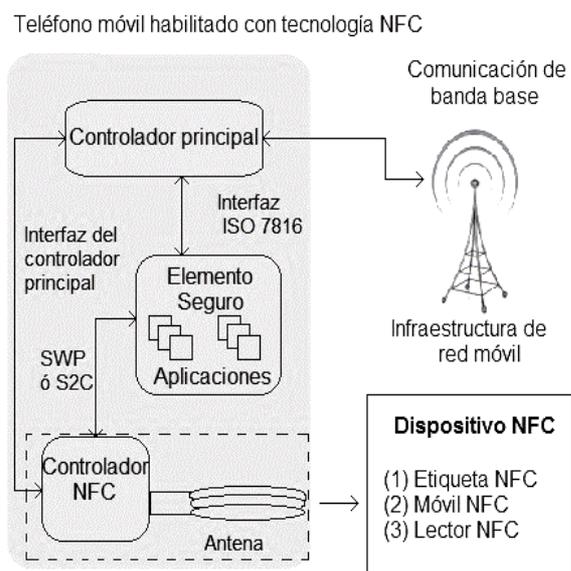


Fig. 1. Arquitectura general de teléfonos celulares con tecnología NFC [3].

En [3] se presenta la arquitectura general de los teléfonos celulares habilitados con

tecnología NFC, la cual está compuesta de distintos circuitos integrados, hardware para operaciones seguras llamado SE (Secure Element, Elemento Seguro) y una interfaz NFC; que a su vez está formada por un NFC CLF (Front-end sin contacto), una antena y un IC (controlador NFC) para la gestión de transacciones. La arquitectura se visualiza en la Fig. 1.

## 2.4 Estándares y protocolos

La tecnología NFC se encuentra estandarizada y obedece a protocolos formulados por algunas organizaciones tales como el Forum NFC, ISO/IEC, ECMA International. Los protocolos y estándares más importantes de la tecnología NFC son:

- ISO/IEC 14443: Se encarga de describir los parámetros necesarios para realizar la comunicación entre una tarjeta de proximidad y un dispositivo de acoplamiento de proximidad, además de determinar el formato de bytes.
- ISO 18092 (NFCIP-1) ó ECMA 340: Define los modos de comunicación de NFC, esquemas de modulación, velocidad de transferencia, esquemas de inicialización, además de mecanismos de control.
- ISO/IEC 21481 (NFCIP-2) ó ECMA 352: Determina mecanismos para seleccionar el modo de comunicación de NFC adecuado.
- ISO/IEC 15963: Describe el uso del Identificador de las etiquetas de radiofrecuencia y los sistemas disponibles para la identificación de dichas etiquetas [8].
- LLCP: Es un protocolo que provee un enlace entre dos dispositivos activos habilitados con tecnología NFC para llevar a cabo el modo de operación Punto-a-Punto. [9]
- NDEF: Brinda un formato estándar para el intercambio de datos entre dispositivos NFC.
- RTD: Especifica el formato y las condiciones que deben de cumplir los datos para construir los tipos de registro basados en el formato NDEF. Incluye especificaciones para registro de texto, URI (Uniform Resource Identifier, Identificador Uniforme de Recursos), datos para carteles inteligentes, firmas y controles genéricos [10].

## 2.5 RFID

La Identificación por Radiofrecuencia (RFID-Radio Frequency Identification) es una tecnología de comunicación entre una etiqueta y un lector RFID con el objetivo de identificar y rastrear objetos; utiliza ondas electromagnéticas para generar la energía necesaria para la lograr dicha comunicación. Cabe destacar que las etiquetas que utiliza RFID son activas y pasivas, a diferencia de NFC que únicamente trabaja con etiquetas

pasivas. Además el rango de comunicación de RFID es más amplio ya que puede comunicarse a distancias de hasta varios metros [3].

Algunas de las aplicaciones de RFID son [3]:

- Control de inventario: Se emplea en las tiendas para controlar la mercancía que se vende, RFID es muy utilizada para el control de activos.
- Transporte público: Algunos medios de transporte en algunos países utilizan sistemas RFID para efectuar los pagos.
- Pasaportes: Se insertan etiquetas RFID en los documentos oficiales como el caso de los pasaportes para evitar falsificaciones.
- Autopistas: Se utiliza para calcular el costo del viaje de los vehículos en las autopistas mediante etiquetas RFID.

### 3 Trabajos Relacionados

En [11] se reporta una aplicación en Java que permite visualizar y actualizar la información relativa de elementos de construcción tales como ventanas, bloques de concreto, vigas de acero, entre otros; los cuales fueron marcados con etiquetas NFC.

En este trabajo se propone el uso de Servicios Web para obtener y actualizar la información de los elementos, sin embargo, no se documenta una arquitectura formalmente definida. Además se resalta que una de las ventajas de utilizar la tecnología NFC, es la capacidad de permitir que un solo dispositivo identifique a un elemento y además modifique su información.

En [4] se presenta una clasificación de aplicaciones NFC existentes de acuerdo a su modo de operación con el objetivo de mostrar claramente la diferencia entre los 3 con los que trabaja, y demostrar que NFC ha empezado a ser utilizado en diferentes ámbitos.

La comunicación entre dos dispositivos NFC se restringe a una distancia máxima de 10 cm., sin embargo en [6] se señala que su capacidad de corto alcance no es una desventaja, ya que evita accesos no intencionados pero para aplicaciones que manejan datos que requieren altas medidas de seguridad es importante implementar mecanismos que codifiquen los datos de manera que se transmitan los mismos de manera segura, como por ejemplo SSL (*Secure Sockets Layer*, Capa de Conexión Segura) [4].

En [5] se presenta un sistema de supervisión de asistencia en una escuela primaria de Finlandia. El funcionamiento del sistema consiste en que el estudiante debe acercarse una tarjeta equipada con etiquetas NFC a un lector NFC para registrar su entrada y salida de la escuela. Los datos del estudiante son registrados en el sistema y automáticamente se envía un mensaje de texto a su tutor para mantenerlo informado del acceso y egreso de su hijo en el plantel Institucional. El desarrollo e implementación del sistema brindó grandes beneficios, ya que hizo posible que los alumnos registraran su asistencia fácil y rápidamente, además los profesores evitaban invertir tiempo en el registro de asistencia de

los alumnos.

De acuerdo a un estudio presentado en [12] se obtiene como resultado que los sistemas NFC son fáciles de utilizar e intuitivos ya que el estudio consistió en observar a un grupo de 17 personas utilizando un sistema NFC sin una capacitación previa y todos los usuarios interactuaron adecuadamente con el sistema, además de que los tiempos de realización de cada tarea fueron relativamente cortos.

Debido a su modo de operación de emulación de tarjeta NFC, en el que el teléfono celular actúa como una tarjeta inteligente, la cual contiene datos que comprometen la seguridad del usuario es necesario establecer mecanismos que brinden seguridad a dichos datos, en [13] se propone una plataforma para gestionar de forma segura las aplicaciones de tarjetas inteligentes en dispositivos NFC. Además se describe la arquitectura utilizada y los 3 prototipos desarrollados.

Se evaluaron los prototipos y se obtuvo como resultado que el concepto propuesto es factible, sin embargo menciona que para una implementación real existen algunos problemas que deben ser solucionados ya que ninguno de los prototipos brindó un resultado óptimo.

En [14] se resalta la facilidad de interacción entre el mundo real y el mundo virtual que brinda la tecnología NFC, ya que se asociaron objetos reales con información relevante utilizando etiquetas NFC con la finalidad de publicar la información asociada a los objetos en la red social *Facebook* rápida y fácilmente.

En [15] Christoph Busold y sus colegas proponen una arquitectura de seguridad para un sistema inmovilizador de automóviles (un dispositivo antirrobo que impide arrancar el motor del automóvil a menos que el dueño del vehículo se autentifique) basado en Smartphones (teléfonos inteligentes) que se encuentren equipados con tecnología NFC. Evidentemente este tipo de sistemas requiere altas medidas de seguridad y para solventarlas se propone utilizar una zona dentro de la aplicación móvil, la cual se llama *Trusted Execution Environment* (Ambiente de Ejecución Confiable) en la que se van a implementar mecanismos de cifrado para asegurar la integridad de los datos.

#### 4. Discusión

A continuación se presentan y discuten los retos que actualmente tiene la tecnología NFC.

- Para el desarrollo de sistemas NFC no se cuenta con una arquitectura estándar. Se encuentran documentados sistemas que utilizan la tecnología NFC para diferentes áreas y aplicaciones, sin embargo cada sistema NFC desarrollado propone su propia arquitectura, como se observa en los artículos [13][14][15]. Con la finalidad de agilizar el desarrollo de sistemas NFC es conveniente contar con una arquitectura estándar que brinde la estructura de sistemas NFC.
- El hecho de que actualmente no todos los teléfonos celulares están habilitados con

tecnología NFC limita su usabilidad, ya que no es posible explotar dicha tecnología si no se cuenta con un dispositivo NFC. Muchas compañías vislumbran la potencia de la tecnología NFC, sin embargo todas ellas compiten por obtener las mayores ganancias y aún no han llegado a un acuerdo en el que todas ellas se beneficien por igual, y como consecuencia se incrementa el número de teléfonos celulares con tecnología NFC a precios más accesibles [3].

- Debido a que NFC es una tecnología relativamente nueva en la cual su principal aplicación son pagos móviles, es importante incrementar los modelos y mecanismos de seguridad en las aplicaciones y sistemas NFC para que los usuarios sientan confianza en utilizar dicha tecnología y por lo tanto la acepten ampliamente.
- La dependencia de la tecnología NFC con otras tecnologías, ya que para desarrollar sistemas en el campo de NFC se necesita tener conocimientos en RFID, tarjetas inteligentes y comunicaciones inalámbricas, por mencionar algunas.

Los retos más factibles por atacar son: 1) el desarrollo de una arquitectura estándar para la construcción de sistemas NFC; y 2) incrementar los modelos y mecanismos de seguridad; ya que no dependen de la intervención de grandes compañías para solventarlos.

## **5. Conclusiones**

Al realizar el análisis de los trabajos relacionados se aprecia que la tecnología NFC es utilizada en diferentes áreas gracias a sus 3 modos de operación: 1) lectura-escritura, 2) emulación de tarjeta, 3) punto-a-punto; que le brindan un extenso número de aplicaciones.

La tecnología NFC está basada en RFID, sin embargo existen algunas diferencias entre ambas como son su rango de comunicación y los tipos de etiquetas que utilizan respectivamente.

Se presentaron y discutieron los retos que actualmente la tecnología NFC enfrenta y se determinó que el desarrollo de una arquitectura estándar es uno de los retos más factibles y prioritarios por resolver debido a que para desarrollar sistemas NFC es necesario tener conocimientos de diferentes tecnologías, lo que conlleva a personas que empiezan a incursionar en el campo de NFC a emplear una gran cantidad de tiempo en obtener los conocimientos necesarios. Por lo tanto contar con una arquitectura estándar para sistemas NFC es de suma importancia para lograr su desarrollo en un tiempo relativamente más corto.

## **6. Trabajo a futuro**

Como trabajo futuro se contempla el desarrollo de una arquitectura para sistemas NFC basada en Servicios Web para dispositivos con sistema operativo Android.

### Agradecimientos

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

### Referencias

1. K. Ok, M. N. Aydin, V. Coskun, and B. Ozdenizci, Exploring underlying values of NFC applications, in Proc. of International Conf. on Management Technology and Applications (ICMTA 2010), Singapur, Singapur, pp. 10–12, (2010)
2. Syed A. Ahson, Mohammad Uyas. Near Field Communications Handbook. Broken Sound Parkway NW: CRC Press, pp.68-75. (2012)
3. Vedat Coskun, Kerem Ok, Busra Ozdenizci. Near Field Communication From Theory to Practice. United Kingdom: Wiley, pp.106-113, (2012)
4. M. Riyazuddin, “NFC: A review of the technology, applications and security.”
5. M. Ervasti, M. Isomursu, and M. Kinnula, Bringing technology into school: NFC-enabled school attendance supervision, in Proceedings of the 8th international conference on mobile and ubiquitous multimedia, p. 4. (2009)
6. A. Paus, “Near field communication in cell phones,” Chair for Communication Security, vol. 24, p. 8, (2007)
7. NFC Forum. Tag Type Technical Specifications. Internet: <http://nfc-forum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/tag-type-technical-specifications/>, Febrero 2, (2014)
8. S. Pampattiwar, Literature Survey on NFC, Applications and Controller, in International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 3, (2012)
9. NFC Forum. Protocol Technical Specifications. Internet: <http://nfc-forum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/protocol-technical-specifications/>, Febrero 1, (2014)
10. NFC Forum. Tag Type Technical Specifications. Internet: <http://nfc-forum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/tag-type-technical-specifications/>, Febrero 2, (2014)
11. R. Kelkka, T. Kallonen, and J. Ikonen, Remote identification and information processing with a near field communication compatible mobile phone, in Proceedings of the International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing, 2009, p. 49.
12. International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments, Proceedings of the 2nd International Conference on PErvasive [sic] Technologies Related to Assistive Environments 2009, Corfu, Greece, June 09-13, 2009. New York, N.Y.: ACM Press, (2009)
13. G. Madlmayr, A mobile trusted computing architecture for a near field communication ecosystem, in Proceedings of the 10th international conference

- on information integration and web-based applications & services, pp. 563–566, (2008)
14. R. Hardy, E. Rukzio, P. Holleis, and M. Wagner, Mystate: sharing social and contextual information through touch interactions with tagged objects, in Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, pp. 475–484, (2011)
  15. C. Busold, A. Taha, C. Wachsmann, A. Dmitrienko, H. Seudié, M. Sobhani, and A.-R. Sadeghi, Smart keys for cyber-cars: secure smartphone-based NFC-enabled car immobilizer, in Proceedings of the third ACM conference on Data and application security and privacy, pp. 233–242, (2013)



# Desarrollo de una aplicación Web para predecir la aparición de complicaciones en pacientes con diabetes tipo II

Sahir Omar Burciaga Sosa, Beatriz A. Olivares Zepahua, Giner Alor Hernández,  
Ana María Chávez Trejo, Hilarión Muñoz Contreras  
División de Estudios de Posgrado e Investigación,  
Instituto Tecnológico de Orizaba,  
Orizaba, Veracruz, México  
sburciaga@acm.org, bolivares@ito-depi.edu.mx, galor@ito-depi.edu.mx,  
achavezt@prodigy.net.mx, hilarionmunozcontreras@gmail.com

**Resumen.** Las personas con diabetes son propensas a desarrollar complicaciones médicas, especialmente si no tienen un control adecuado de su enfermedad. Dentro de las complicaciones crónicas más comunes en los diabéticos se encuentran la retinopatía diabética, la nefropatía diabética y el pie diabético. Estas complicaciones afectan la calidad de vida del paciente y, sin el tratamiento adecuado, pueden conducir a su muerte. En el presente proyecto se trabaja en el desarrollo de una aplicación Web que, utilizando Minería de Datos, realiza la predicción de la aparición de complicaciones en pacientes con Diabetes Mellitus Tipo II.

**Palabras Clave:** Minería de Datos, Diabetes, Clasificación, Predicción, WEKA.

## 1 Introducción

En años recientes la incidencia de la diabetes en la población mexicana aumentó de forma alarmante [1] [2] [3]. El padecimiento de esta enfermedad incrementa el riesgo de desarrollar complicaciones crónicas como la Nefropatía Diabética (ND), la Retinopatía Diabética (RD) y el Pie Diabético (PD). La ND es una de las complicaciones más temidas y es la responsable de la mayoría de los casos de insuficiencia renal crónica terminal; la RD representa una de las principales causas de ceguera y el PD es una de las principales causas de amputación. Estas complicaciones pueden presentarse de forma asintomática, es decir, el paciente no siente dolor, malestar o algún síntoma que advierta de la presencia de la enfermedad incluso en etapas avanzadas cuando el riesgo de tales complicaciones es mayor por lo que resulta indispensable obtener un diagnóstico oportuno.

Por otro lado, diversas técnicas de Minería de Datos (MD) se emplean exitosamente para el diagnóstico, identificación de riesgos y generación de tratamientos de diversas enfermedades [4] [5] [6] [7].

En este trabajo se presenta el desarrollo de una aplicación Web que, utilizando MD, realice la predicción de la aparición de complicaciones en pacientes con Diabetes Mellitus Tipo II (DMTII). El trabajo se enfoca en la aplicación de la tecnología de MD en el sector de la salud para ofrecer una solución computacional que ayude a los médicos a la identificación de la aparición de complicaciones en pacientes diabéticos.

## **2 Trabajos relacionados**

Existen múltiples investigaciones donde se hace uso de técnicas de MD en el área de la salud. Por ejemplo en [5] se comparan diversas técnicas de MD para el diagnóstico de la enfermedad cáncer de mama. En [8] se emplea Minería de Textos para identificar factores de riesgo relacionados con la aparición de RD. En [4] [9] [10], [11], [12] se aplican diversas técnicas de MD para el diagnóstico de la diabetes pero en ellos no se aborda el tema de las complicaciones asociadas como la RD, PD o ND. En [13] y [14] se reporta la aplicación de MD a la predicción de condiciones específicas de hemodiálisis (necesidad de hospitalización, diálisis) sin relacionarla directamente con variables de DMTII. En [15] se predice la probabilidad de que los pacientes con DMTII padezcan una enfermedad cardíaca. En [16] se usa MD para predecir oportunamente la aparición de nefropatía diabética en pacientes con DMTII. Por otro lado, los estudios formales reportados en México se centran en el análisis estadístico de la presencia de la enfermedad [1] [2] [3] y las complicaciones que de ella derivan, como son la gestión de tratamientos de largo plazo, la necesidad de unidades médicas especializadas, los costos de hospitalización y el aumento de pensiones por incapacidad entre otros [17].

## **3 Minería de Datos**

Mehmed Kantardzic define a la MD como “el proceso para encontrar información nueva, valiosa y no trivial en grandes volúmenes de datos” [18]. En otras palabras, la MD permite extraer conocimiento útil y desconocido que se encuentra oculto en los datos. La MD se aplica en una gran variedad de tipos de repositorios como son base de datos relacionales, almacenes de datos y archivos planos entre otros [19]. Las tareas principales de la MD son la clasificación/predicción y la descripción [19].

### **3.1 Clasificación y predicción**

La clasificación y la predicción permiten analizar los datos y extraer modelos que ayudarán a predecir el comportamiento de nuevos datos. La principal diferencia entre estos conceptos radica en que la clasificación se utiliza cuando se desea obtener valores discretos y la predicción cuando se desea conocer valores continuos [19]; sin embargo

algunos autores, e incluso herramientas como las de Microsoft, usan solamente el término *predicción* sin importar el tipo específico de valor.

### **3.2 Modelo de Minería de Datos**

Un modelo de MD se refiere no solamente a un algoritmo, si no a un conjunto de datos, estadísticas y patrones que se utilizan para realizar las tareas de MD como predicciones o clasificaciones [20]. Una estructura de MD contiene la información que representa el origen de los datos. El modelo de MD obtiene los datos a partir de esta estructura y posteriormente la analiza y procesa usando un algoritmo de MD. Una vez que se concluye este proceso, se almacenan los resultados, patrones, metadatos y enlaces de la estructura de MD en el modelo. De esta manera es posible construir diversos modelos con distintos algoritmos y estructuras de datos obteniendo como resultado un conjunto diferente de metadatos y patrones que permitirán realizar predicciones con diversos resultados [20].

### **3.3 Técnicas de Minería de Datos**

Existen diversas técnicas de MD que se desarrollaron y probaron a través de los años en diferentes proyectos. En [21] se clasifica a los algoritmos de MD en dos grupos: supervisados y no supervisados. Los supervisados son aquellos que predicen el valor de un atributo *etiqueta* con base en un conjunto de datos conocido, es decir, funcionan para la clasificación o para la predicción. A partir de los valores donde la *etiqueta* se conoce, se realiza una relación entre la *etiqueta* y los otros valores y es por medio de estas relaciones que se realiza la predicción sobre una etiqueta desconocida. Por otro lado, los métodos no supervisados descubren patrones y tendencias en los datos. Los algoritmos no supervisados buscan similitud entre los datos con el fin de establecer grupos. El presente proyecto se enfoca en técnicas de aprendizaje supervisado. Algunos ejemplos de algoritmos de aprendizaje supervisado son a) *Métodos Bayesianos*: como Naive Bayes, b) *Árboles de decisión*: como CART, ID3, C 4.5, c) *Regresión*: tanto Lineal como No Lineal, d) *Aprendizaje perezoso*: como K-Vecino más cercano y e) *Reglas de asociación*: CBA, CMAR, CPAR entre otros.

## **4 Aplicación Web para explotación de modelos de MD**

Para hacer uso de los modelos de MD que predicen la aparición de complicaciones en pacientes con DMTII, se desarrolló una aplicación Web bajo la tecnología de JSF (*JavaServer Faces*). JSF es la tecnología más reciente y el estándar oficial que ofrece Java para la construcción de aplicaciones Web. JSF implementa el modelo arquitectónico

MVC (Modelo-Vista-Controlador), el cual permite separar la lógica del negocio (modelo), de la presentación (vista), obteniendo así aplicaciones escalables y de fácil mantenimiento.

En la figura 1 se muestra la arquitectura de la aplicación, al tratarse de una aplicación Web, ésta se encuentra alojada en un servidor y un cliente accede a ella a través de un *browser*. Los componentes que integran la arquitectura del sistema se describen a continuación:

*Controlador*: contiene el FacesServlet, es decir el *servlet* de JSF cuya función principal es coordinar a la vista y al modelo controlando el flujo de navegación, gestionando las diferentes peticiones de recursos y generando las respuestas correspondientes a la vista.

*Vista*: está compuesta por archivos XHTML que representan la interfaz del usuario, su principal función es el despliegue y la captura de información. Para realizar dicha tarea se ayuda del uso de las etiquetas propias de JSF. También se incluye la biblioteca de PrimeFaces que es un API para JSF que permite crear aplicaciones Web enriquecidas.

*Modelo*: En el modelo se encuentran los *beans* administrados (*Managed Beans*) que dan acceso a los componentes de la interfaz del usuario y permiten el paso de información a los *beans* de modelo (*Model Beans*). Los *Model Beans* representan a las clases importantes en el dominio del problema y hacen uso de la API de Weka que es una biblioteca para Java que permite realizar diversas tareas de MD y se usa para acceder a los modelos de MD representados por archivos `.model`, y de la API de JDBC para acceder al gestor de base de datos PostgreSQL, donde se encuentra almacenada la base de datos que contiene la información perteneciente a los médicos y un registro histórico de las diversas predicciones que se han realizado, con el fin de que en un futuro sirvan para reentrenar al modelo.

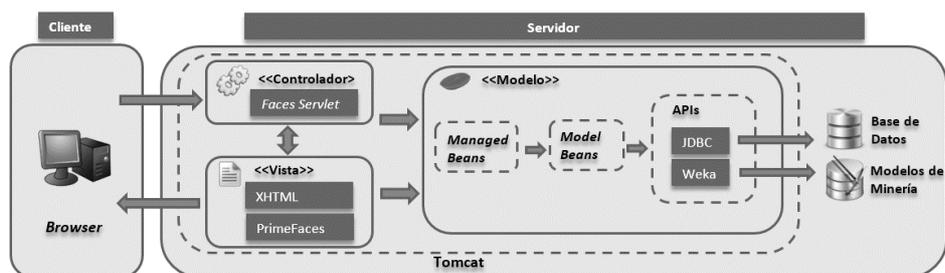
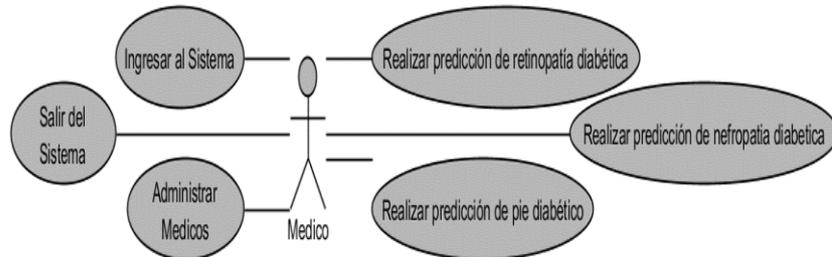


Fig. 1. Arquitectura de la aplicación.



**Fig. 2.** Funcionalidad de la aplicación expresada a través un diagrama de casos de uso.

En la figura 2 se observa la funcionalidad de la aplicación. Como se aprecia en la imagen, sólo existe un actor: Médico, que representa al profesional de la salud que se encarga de manejar el sistema. En total se identifican 6 casos de uso: uno de ellos referente a la gestión de los médicos que contiene las típicas operaciones de registro, bajas y modificaciones. Dos de ellos a la autenticación del sistema (Ingresar al Sistema, Salir del Sistema) y tres con respecto a la realización de las predicciones (predicción de RD, predicción de ND, predicción de PD) que engloban todas las tareas necesarias para predecir la aparición de complicaciones de la diabetes.

En la figura 3 se modelan las relaciones entre clases que integran al sistema y la distribución de éstas en sus respectivos paquetes. En total existen 5 paquetes que contienen todas las clases del sistema, a continuación se describen brevemente cada uno de ellos:

*WEB*: representa prácticamente a la vista del sistema, aquí se encuentran todas las páginas XHTML de la aplicación.

*Filtros*: contiene a la clase *FiltroAcceso* que se comunica con el *servlet* de la aplicación y restringe a los usuarios el acceso a ciertos recursos.

*ManagedBeans*: son las clases que implementan la lógica del negocio, a) *LoginJB*, invoca al modelo para que un usuario inicie o cierre sesión, b) *PrediccionesJB*, invoca al modelo para que se realice la predicción, c) *AdministrarMedicosJB*, invoca al modelo para que se registren, eliminen, consulten o modifiquen los médicos y d) *EdicionCampos*: modifica las propiedades en los campos de un formulario.

*ModelBeans*: compuesto por las clases que son importantes en el dominio del problema, a) *Medico*: representa a una entidad médico con todos sus atributos y contiene los métodos para iniciar sesión, cerrar sesión, registrar, eliminar y modificar médicos; b) *Paciente*: representa a una entidad paciente con todos sus atributos y contiene los métodos para predecir la aparición de nefropatía, retinopatía y pie diabético.

*Datos*: incluye dos clases, a) AccesoDatos, contiene los métodos para acceder, manipular y consultar la base de datos y b) AccesoMinería, contiene los métodos para acceder y consultar los modelos de minería de datos.

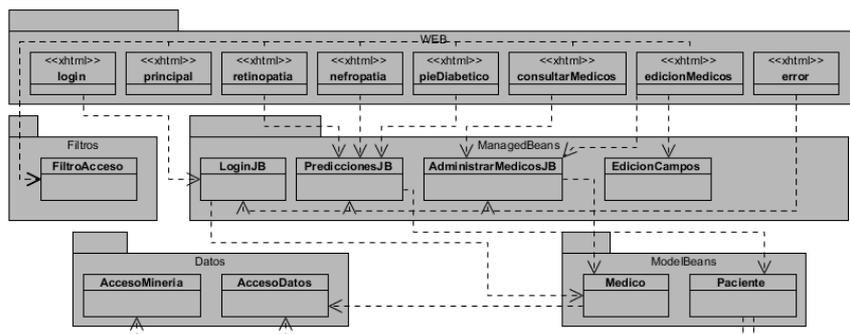


Fig. 3. Diagrama de clases de la aplicación.

En la vista se implementaron elementos de JSF y de PrimeFaces para lograr un buen grado de usabilidad. En la figura 4 se observa un formulario que permite la captura de las 53 variables involucradas en la predicción de la aparición de ND.

Fig. 4. Pantalla de captura de datos para predecir la aparición de nefropatía diabética.

La aplicación funciona con un modelo de MD provisional debido a que, de momento, se trabaja en la captura de información real de los modelos de MD que predicen la aparición de complicaciones de DMTII; una vez finalizada la captura y la validación de los modelos, éstos se integrarán a la aplicación Web anteriormente descrita.

## 5 Metodología para MD

Para el desarrollo de los modelos de MD se sigue el proceso de Descubrimiento de Conocimiento en Datos, conocido por sus siglas en inglés como KDD (*Knowledge Discovery from Data*). En la figura 6 se observan las 5 fases que conforman KDD.

En este proyecto se elaboraron tres modelos de minería de datos. Uno para la predicción de RD, otro para ND y otro para PD. Para el análisis de los datos se emplea WEKA, que contiene una colección de algoritmos de aprendizaje automático para tareas de MD. Dentro de las tareas para las que se usa WEKA están el preprocesamiento de datos, clasificación, visualización, y selección de características.

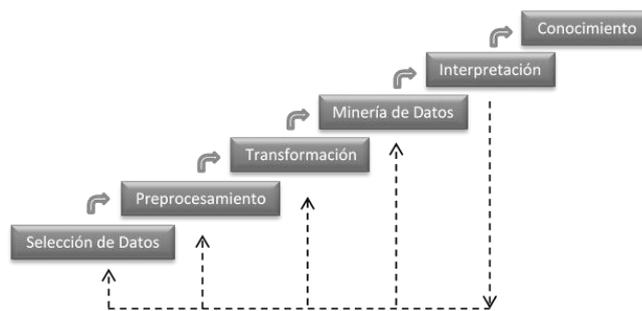


Fig. 6. Fases en el proceso de KDD.

Para la fase de KDD “Selección de Datos”, en la figura 7 se observan las tareas que se realizaron. Como primer paso se definieron las características de la población y el tamaño de la muestra. Posteriormente, con la ayuda de un médico, se seleccionaron las variables que se involucran en la aparición de complicaciones de la DMTII. Después se procedió a capturar digitalmente en Excel la información de los expedientes clínicos de los pacientes. Y, por último, se procedió a importar el documento de Excel a una base de datos para su manipulación en fases posteriores.

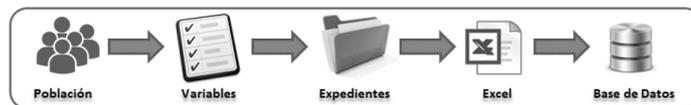


Fig. 7. Actividades realizadas en la fase de selección de datos.

La población se obtuvo del Hospital Regional de Río Blanco (HRRB) ubicado en el municipio de Río Blanco, Veracruz, México. El universo de trabajo está conformado por pacientes con diagnóstico de DMTII, en cualquier etapa de la enfermedad y con presencia de RD o ND o PD. Y también pacientes con diagnóstico de DMTII, en cualquier etapa de la enfermedad pero sin presencia de complicaciones, es decir, sin diagnóstico de RD, ND y/o PD. El tamaño de la muestra es de un total de 200 pacientes con DMTII que acudieron a consulta externa, cirugía o urgencias en el HRRB en el periodo comprendido del año 2012 a 2014.

Para la selección de las variables se consultaron diferentes guías de la práctica clínica elaboradas por instituciones de salud como el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y Asociación Latinoamericana de Diabetes (ALAD) entre otras y también se consultó a un médico experto que se encargó de validar y corregir las variables seleccionadas, además de agregar algunas otras que consideraba de importancia para la realización del estudio. Al final se seleccionaron 53 variables entre las cuales se encuentran: edad, sexo, duración de la diabetes, índice de masa corporal (IMC), tipo hipoglucemiante, hipertensión arterial (HTA), tabaquismo, alcoholismo, Hemoglobina Glucosilada (HbA1c), glucosa promedio, nitrógeno ureico promedio, entre otras. Una vez definidas las variables se procedió a capturarlas en un documento de Excel a partir de los expedientes clínicos de los pacientes.

Cabe mencionar que una de las mayores dificultades por la que se ha atravesado en el desarrollo de este proyecto es la obtención de información en el sector de la salud. Esto debido principalmente a que los expedientes de los pacientes no están sistematizados y presentan información incompleta y bajo distintos formatos, lo cual ralentiza considerablemente el proceso de recolección de datos. Actualmente se sigue trabajando en la captura de la información pero una vez concluida esta actividad se podrá continuar con las siguientes fases de KDD. En la etapa de "*Minería de Datos*" los principales algoritmos de clasificación que se emplearán son Bayes Ingenuo, Árboles de Decisión (ID3, C4.5), Vecino Más Cercano, Perceptrón Multicapa y Maquinas de Vectores de Soporte, todos ellos permiten trabajar tanto con valores nominales como con valores numéricos a excepción del clasificador ID3 que sólo acepta valores nominales, por lo que las variables como la edad, duración de la diabetes, IMC, glucosa, entre otras será necesario transformarlas a sus valores nominales, dicha tarea se llevará a cabo en la fase de "*Transformación*". Por otro lado, todos estos algoritmos también permiten trabajar con valores perdidos sólo que cada uno de ellos emplea una estrategia particular para tratar con ellos. En la etapa de "*Preprocesamiento*" se detectarán y tratarán este tipo de valores, en el caso de las variables que cuentan con muy pocas mediciones como sucede con la Hemoglobina Glucosilada (HbA1c) que se encuentra ausente en más del 90% de las tuplas se procederá a eliminarla del conjunto de entrenamiento, cabe mencionar que la HbA1c se había contemplado inicialmente dentro de las variables a medir debido a que permite conocer los niveles de glucosa en los últimos 3 meses en un paciente diabético, pero en base los resultados obtenidos en la recolección de datos se considera poco relevante incluirla en el estudio. Quizás una de las razones por la que existen pocos registros de esta variable es debido a que el precio de realizar esta prueba es relativamente alto en

comparación a la medición de glucosa tradicional. Siguiendo con el preprocesamiento también se ignorarán aquellas tuplas que presenten mucha información faltante como es el caso de aquellos pacientes que no tienen registro de ninguna prueba de laboratorio. La intención es que la muestra de pacientes contenga registros completos y así mantener la información lo más real posible, aquellas tuplas que presenten pocos valores faltantes se les asignará un valor a juicio médico. Finalmente en la etapa de *Interpretación* se evaluarán los modelos con base en su nivel de certeza, sensibilidad y especificidad, en caso de que no sean los óptimos se regresará a etapas anteriores hasta que se logre el mejor desempeño. De igual forma se utilizará la técnica de selección de características para medir la influencia de las variables en la predicción con el objetivo de eliminar aquellas que sean irrelevantes.

## **6 Problemática encontrada**

La relevancia de incorporar aspectos tecnológicos para la gestión, diagnóstico y tratamiento de enfermedades constituye una propuesta importante para el apoyo de problemas de salud. Una vez terminada e instalada la aplicación, se logrará analizar información correspondiente a pacientes de la región que de otra forma sería difícil de evaluar por un profesional de la salud y que generará modelos de comportamiento, permitiendo así predecir la aparición de complicaciones en pacientes diabéticos.

Una de las complicaciones por las que atraviesa el desarrollo de este trabajo, es la dificultad que implica la recolección de la información. Esto debido principalmente a que la mayoría de los hospitales en México, no cuenta con sistemas que implementen el expediente clínico electrónico (ECE), por lo que la recolección de datos se realiza de forma manual a partir de la revisión de expedientes físicos, lo que ralentiza el avance del proyecto; la revisión de un expediente puede tardar hasta una hora y aun así presentar información incompleta. Otras dificultades que ocurren es el cambio de personal médico que ocasiona que existan diferentes formatos, estilos de redacción de notas médicas y pruebas de laboratorio entre otras cosas. Y por último, existen muchos pacientes que acuden de forma irregular al médico por lo que no se cuenta con su expediente clínico completo. Todos estos factores mencionados anteriormente conllevan a una irregular e incompleta información clínica por lo que se hace difícil obtener información valiosa de los datos.

De momento aún queda mucho trabajo de MD por realizar en el proyecto y el aporte que éste realice a los profesionales de la salud mucho dependerá de los resultados que se obtengan al entrenar los modelos, con base en su nivel de certeza, sensibilidad y especificidad, aunque cabe mencionar que los modelos nunca serán lo suficientemente precisos o completos para reemplazar las decisiones tomadas por los profesionales de la salud. En este aspecto, el principal objetivo de este trabajo es sugerir una alternativa computacional que proporcione información útil a los médicos para planear estrategias apropiadas en el control de las complicaciones de la diabetes.

## 7 Conclusiones y trabajo a futuro

Es importante valorar el impacto de las Tecnologías de Información y Comunicación en el sector de la salud. La MD ofrece alternativas computacionales para el diagnóstico e identificación de diversas enfermedades como son el cáncer de mama, problemas cardiacos, diabetes, problemas renales, entre otros. La MD permite analizar diversas variables que se relacionan con la aparición de complicaciones en pacientes diabéticos que de otra forma sería difícil de evaluar por un profesional de la salud. Además permite generar modelos de comportamiento que sirven para predecir la aparición de complicaciones en pacientes diabéticos.

Con el desarrollo de esta aplicación se espera proporcionar a los profesionales de la salud una alternativa computacional en el proceso de toma de decisiones y a la identificación de complicaciones en pacientes diabéticos.

Se espera que en un futuro el número de hospitales que implementen el sistema de ECE aumente, lo que conducirá a una más eficiente recolección de datos y hará más fácil la aplicación de técnicas de MD en el área de la salud pública.

Es importante señalar que, dado el gran impacto que tiene la diabetes en México, es necesario hacer todos los esfuerzos posibles en cada uno de los diferentes sectores con el objetivo de disminuir el problema de representa esta enfermedad.

Como trabajo a futuro está el terminar la construcción de los modelos de MD. Para esto se debe de continuar con la captura de la información de los expedientes clínicos y posteriormente realizar las actividades que propone KDD en sus distintas fases, tal y como se describió en el apartado 5 y una vez construidos integrar los modelos a la aplicación Web descrita en el apartado 4.

### Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, por el apoyo económico otorgado para la realización del trabajo; al Hospital Regional de Río Blanco, HRRB, por facilitar la obtención de los datos y por la asesoría médica prestada.

### Referencias

1. Secretaría de Salud, «Programa de Acción Específico 2007 – 2012,» Unidades de Especialidades Médicas UNEMES, (2007)
2. G. Olaiz Fernández, R. Rojas, C. A. Aguilar Salinas, J. Rauda y S. Villalpando, «Diabetes mellitus en adultos mexicanos. Resultados de la Encuesta Nacional de Salud 2000,» Salud Publica Mex, vol. 49, n° s3, (2007)
3. J. Escobedo de la Peña y B. Rico Verdín, «Incidencia y letalidad de las complicaciones agudas y crónicas de la diabetes mellitus en México; Incidence and fatlity rates of short and long-term diabetes mellitus complications in Mexico,» Salud pública Méx, vol. 8, n° 4, pp. 236-42, (1996)
4. K. Harleen y K. W. Siri, «Empirical study on applications of data mining techniques in healthcare,» Journal of Computer Science, vol. 2, n° 2, pp. 194-200, (2006)

5. M. F. Bin Othman y T. M. Shan You, «Comparison of different classification techniques using WEKA for breast cancer,» In 3rd Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering, pp. 520-523, (2007)
6. N. Chalortham, M. Burranarach y T. Supnithi, «Information and Creativity Support Systems,» de Ontology Development for Type II Diabetes Mellitus Clinical Support System, (2009)
7. A. A. Aljumah, M. Gulam Ahamad y M. Khubeb Siddiqui, «Application of Data Mining: Diabetes Health Care in Young and Old Patients,» de Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, (2012)
8. S. Imambi y T. Sudha, «Building Classification System to Predict Risk factors of Diabetic Retinopathy Using Text mining,» International Journal, vol. 2, n° 7, pp. 2309-2312, (2010)
9. K. Rajesh y V. Sangeetha, «Application of Data Mining Methods and Techniques for Diabetes Diagnosis,» International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), vol. 2, n° 3, (2012)
10. M. Cedeno, A. y D. Andina, «Data mining for the diagnosis of type 2 diabetes,» de In World Automation Congress (WAC), (2012)
11. H. C. Koh y G. Tan, «Data mining applications in healthcare,» Journal of Healthcare Information Management, vol. 19, n° 2, p. 65, (2011)
12. X.-H. Meng, Y.-X. Huang, D.-P. Rao, Q. Zhang y Q. Liu, «Comparison of three data mining models for predicting diabetes or prediabetes by risk factors,» Kaohsiung Journal of Medical Sciences, vol. 29, n° 2, pp. 93-9, (2013)
13. J.-Y. Yeh, T.-H. Wu y C.-W. Tsao, «Using data mining techniques to predict hospitalization of hemodialysis patients,» Decis. Support Syst, vol. 50, n° 2, pp. 439-448, January (2011)
14. T.-C. Lu y C.-Y. Tseng, «Hemodialysis key features mining and patients clustering technologies,» Adv. Artif. Neu. Sys, p. 6, (2012)
15. G. Parthiban, A. Rajesh y S. Srivatsa, «Diagnosis of Heart Disease for Diabetic Patients using Naive Bayes Method,» International Journal of Computer Applications, vol. 24, n° 3, pp. 7-11, 2011.
16. B. Hwan Cho, H. Yu, K.-W. Kim, T. Hyun Kim, I. Young Kim y S. I. Kim, «Application of irregular and unbalanced data to predict diabetic nephropathy using visualization and feature selection methods,» Artif. Intell. Med, vol. 42, n° 1, pp. 37-53, (2008)
17. A. Arredondo y E. de Icaza, «Costos de la diabetes en América Latina: evidencias del caso Mexicano,» Value Health, vol. 14, n° 5, pp. s85-8, (2011)
18. M. Kantarzdziec, Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms (2nd ed.), Wiley-IEEE Press, (2011)
19. J. Han, M. Kamber y J. Pei, Data Mining: Concepts and Techniques (3rd ed.), San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., (2011)
20. Microsoft Corporation, «MSDN Library», [En línea]. Available: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/cc645779.aspx#feedback>. Agosto (2013)
21. S. M. Weiss y N. Indurkha, Predictive Data Mining: A Practical Guide, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers Inc, (1998)



# Predicting Preferences of Voters from Opinion Polls by Machine Learning and Game Theory

Guillermo De Ita Luna<sup>1</sup>, Aurelio López López<sup>2</sup>, Josué Pérez Lucero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Puebla, <sup>2</sup>INAOE - Puebla  
*deita@cs.buap.mx, allopez@inaoep.mx, d.josue.pl@gmail.com*

**Abstract.** We present a method to determine political profiles of a voters population through the application of learning algorithms and game theory. Our process began with a collection of surveys gathered in two ways, from a website and directly from voters. Having a linear hierarchy on the attributes expressing the political preferences of the voters allow to apply a zero-sum game approach to distribute the potential number of votes among the involved candidates. We have applied our model to do electoral prospection in a case study of the Major's election of our city, that took place in July 2013. The results were quite encouraging. Our approach has also the potential to be applied to new product advertisement campaigns.

**Keywords:** Data Mining, Learning Algorithms, Recognizing Political Profiles, Linear Hierarchy

## 1 Introduction

Currently, computer systems that support decision making are present in many applications, as in the case of Intelligent Web Decision Support Systems, providing users with technologies that understand their preferences and make recommendations based on them. Examples of such systems are Your *Amazon.com* Store, *Auto Choice Advisor* of General Motors, *IBM Solution Profiler*, and so on [4].

One of the common processes of decision making, which has been subject of many studies, is 'the vote' in democratic system. Voting is a process that describes the way in which the preferences of a group of people determine a collective decision. Choosing a representative is a process with a high degree of uncertainty.

Nowadays, demoscopic studies (opinion polls) are performed intended to determine some electoral preferences. Those surveys, as snapshots of a moment, allow us to make predictions for a very short term. Because of the lack of analytic tools for studying electoral decision making, we propose the use of learning algorithms to determine the political profiles of voters.

Different methods have been proposed to model and simulate electoral trends, some of them based on game theory. For example, there are models simulating a political contest via a competition among intelligent agents, where agents are not cooperative and compete for obtaining the highest number of votes. There are different ways to simulate the process of obtaining votes by intelligent agents. One of them is by applying strategies in a non-cooperative game [2], [7].

Also, the uniform random sampling process has been widely used through opinion surveys as a means of electoral prospection. The size of the sample depends primarily on the population variance: as population is more diverse regarding the event to estimate, the size of the sample increases, regardless of the overall size of the population [5].

Random sampling also requires increasing the size of the sample at an exponential rate with respect to the probability of success of the event that is sampled. That is, the recognition of events with high uncertainty requires a much larger sample than those events with less uncertainty. For example, if one needs to recognize electoral trends, while higher uncertainty is in the voters to decide their preference by only one of the contending candidates, besides of increasing the sample size, one has to consider respondent's uncertainty about their preference, which can lead then to answer contradictory or imprecisely the survey questions.

The use of statistical Methods have been the main tool for doing electoral surveys, but it has not been clear its effectiveness for this social task because the involved actors had abused of that tool for spreading results to convenience. Furthermore, sampling can be improved by considering additional knowledge about the population to be sampled.

In order to obtain knowledge about the voters, we propose to build political profiles of voters from initial surveys. And for this purpose, we apply techniques from data mining on the answers of respondents, to characterize constituencies in favor and against each candidate. This implies in turn, the design and implementation of more targeted surveys to relate needs of voters with their political preference.

A learning algorithm becomes a prediction model which has been commonly used in the field of artificial intelligence. We present in this article the application of learning algorithms as a technique for extracting information from opinion polls.

So, our main contributions are twofold: an innovative algorithm extending the processing of information produced by the learning algorithms, to improve mining; and the application of a game theory approach to reach an expected vote distribution among candidates.

This paper is organized as follows. Section 2 discusses opinion polls and its presence in the Web. Section 3 describes how data mining is achieved in our context. The way that we extract a hierarchy of central attributes for revealing voters preferences is detailed in section 4. In section 5, we present how to apply game theory for computing the distribution of votes among the candidates involved in a contest.

## 2 Political Polls

An opinion poll, in its traditional elaboration form, usually reflects outlying questions about candidates, and about the political competition, such as: popularity indexes, perceptions on the nature of the candidates or their images, the impact of their campaigns, etc. Often the factors that are measured through those surveys point more to the interest of the candidates or their parties, than to the interest or perception of voters.

Because of the lack of analytical tools to simulate voting trends, we have developed a novel method for recognizing the political profiles of a population of voters. A key element in our method is to recognize the set of 'main attributes', characterizing the political behavior of a sector of voters.

We propose the use of surveys as an initial way to recognize the relation between concerns and the political preferences of the voters. We have employed the Web as a medium to promote and collect those surveys. We call *profile* to a set of principal attributes of the voters which infer a value of class (a political decision). Our proposal consists of applying learning algorithms for recognizing automatically the profiles characterizing the political preferences of the voters.

A candidate (and sometimes, his campaign's team) tries to recognize and modify the profiles of the voters in different ways, creating so different political programs to be applied in accordance with the answer of the voters to those programs.

## **2.1 The Web as a Medium to Collect Political Polls**

At the time when the news came over the ticker on 2011, the so-called *Facebook revolution* had already reached a new high. According to Hosni Mubarak [1], who was still president of Egypt at that time, and according to his regime, it was no longer sufficient to sporadically shut off cellular networks and social media services, such as *Facebook*, or *Twitter*. Instead, the entire Internet seemed to become an uncontrollable threat to the governmental machinery of power which made it necessary to take this drastic step for the first time ever.

The phenomenon of disseminating information via social media services against the will of regimes of totalitarian states was not new. Subsequent to the presidential elections in Iran in 2009, for instance, news concerning the opponents protests almost exclusively reached the foreign public via the micro-blogging platform *Twitter* and the video website *Youtube* [1].

Just as the web has been used for connecting people, political purpose has occupied information and preferences of the electorate. For example, in the election of President Obama, his campaign team addressed microsites to meet the expectations of the voters about the candidates, as expressed in social networks.

Social network analysis based on algorithms for mining the Web, blogs, and online forums has been used to identify trends and find the people launching these new trends. Those algorithms include the temporal computation of network centrality measures, the visualization of social networks as Cybermaps, a semantic process of mining and analyzing large amounts of text based on social network analysis, and sentiment analysis and information filtering methods. The temporal calculation of betweenness of concepts allow to extract and predict long-term trends on the popularity of relevant concepts such as brands, movies, and politicians [6].

## **3 Data Mining**

A key element for building significant political programs for a population, is to recognize profiles characterizing the main concerns of voters. But that is the central problem of the political actors: How to identify the necessities, the actual interest of the voters, and how to characterize their political preferences?

We propose the use of learning algorithms such as ID3 and C4.5 to identify the main attributes characterizing political preferences of a population of voters.

For example, the aim of the ID3 algorithm is to build a decision tree that explains each of the instances, in a very compact form [8]. A limitation of this algorithm is that instances should have only discrete numerical values associated with each attribute, and if the response matrix contains significant noise, the rules of classification could include a high rate of error. The C4.5 algorithm (also called J48) improves ID3 algorithm by handling continuous and discrete attributes. Both algorithms (ID3 and C4.5) have been implemented in the Weka system (Waikato Environment for Knowledge Analysis), which is a popular suite of machine learning software written in Java and developed at the University of Waikato, New Zealand [3].

A decision tree is built by the application of concepts from Information Theory to the set of responses of the survey (expressed in the learning matrix). In each step, the learning matrix is examined to determine the attribute expressing the most important information on which base a decision. This attribute is then used as a decision node to split the data set into as many groups as the values of such attribute. At each subsequent decision node, the data set is split repeatedly. The result is a decision tree, i.e. a collection of nodes, where the leaf nodes represent a final classification of the examples (see figure 1).

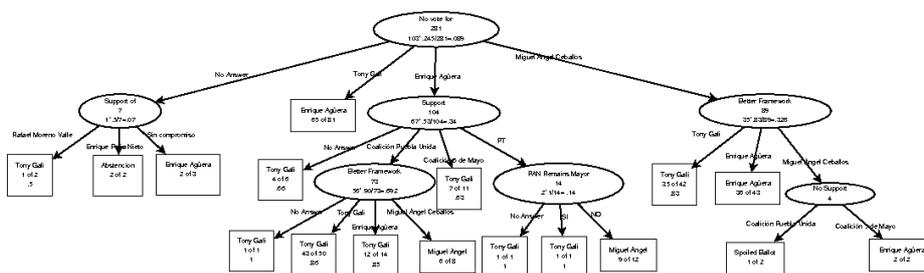


Fig. 1. Tree with relevant attributes for candidate: Antonio Gali

In order to determine the attribute which gives a maximum information gain, the entropy in the training matrix can be computed as:

$$Ent = -\sum_c(p(c) \cdot \log_2 p(c)) \tag{1}$$

The entropy is an average of the amount of information necessary to classify an object, where  $p(c)$  is the probability that such object corresponds with a specific value of class  $c$ . Also, the entropy of each attribute is computed based on the number of instances having the different values of the attribute. The information that each attribute  $A$  conveys is computed as:

$$Inf(A) = -\sum_v(p(v) \cdot (\sum_c p(\frac{c}{v}) \cdot \log_2 p(\frac{c}{v}))) \tag{2}$$

where  $p(\frac{c}{v})$  is the conditional probability to obtain the value of class  $c$ , given that the attribute  $A$  has the value  $v$ . And the average of the gain of an attribute  $A$  (the entropy

of the attribute  $A$ ), is computed as:

$$Ent(A) = -\sum_c(p(v) \cdot \log_2 p(v)) \quad (3)$$

The information gain is computed for each attribute as:

$$Gain(A) = (Ent - Inf(A))/(Ent(A)) \quad (4)$$

and the attribute  $A$  with maximum information gain is chosen to be the splitting node on the current tree, in such a way that a branch from  $A$  is formed for each value in the domain of  $A$ , and then  $A$  is discarded of the set of attributes. The learning algorithm is then applied repeatedly to continue forming a complete decision tree.

We apply over 400 surveys and its initial pre-processing allow us to eliminate the positive fakes. We have codified the remaining surveys as source data for the Weka system, and we have built different decision trees formed by different options of class values, and also with a fix value of class, analyzing the correlation among different attributes.

We have used Weka since it supports several standard data mining tasks, such as: data preprocessing, visualization of the correlation among attributes, clustering, classification, regression, and feature selection [3].

After obtaining the decision trees, logical rules are formulated from those trees. A rule can be interpreted as the path from the root of the tree to a leaf node, indicating in each node along the path, the value of the attribute that the corresponding node has to take to be part of the rule.

The following set of decision trees show the relation between concerns of the voters with their political preference for each one of the two main candidates in the major election of Puebla, México, election realized in July 2013 (see figure 1 and 2).

We show only the trees characterizing the voters who are in favor of the two main candidates in the election under consideration. However, different trees were built considering for instance, the voters against each candidate.

## 4 Building a Hierarchy of the Main Attributes

There is an order among the attributes of a classification tree, given by the position of the attributes on the tree. This order corresponds to the minimum size of the path from the root to a class value (leaf node) of the tree. However, in certain applications is more useful to produce a linear order on the attributes according to the number of examples classified for each class value and the precision of such classification.

For example, in political campaigns, and with the purpose of characterizing the political preferences of the voters, is quite important to determine which attributes are more relevant than other. But this hierarchy must weight the attributes according to who attracts more voters and how that attribute appears in the inductive rules for each class value.

Now, we present an algorithm for sorting, in a linear and hierarchical form, the set of attributes appearing in a classification tree. In this case, the ordering is based on the number of instances classified for a class value, that we refer as 'positive class'

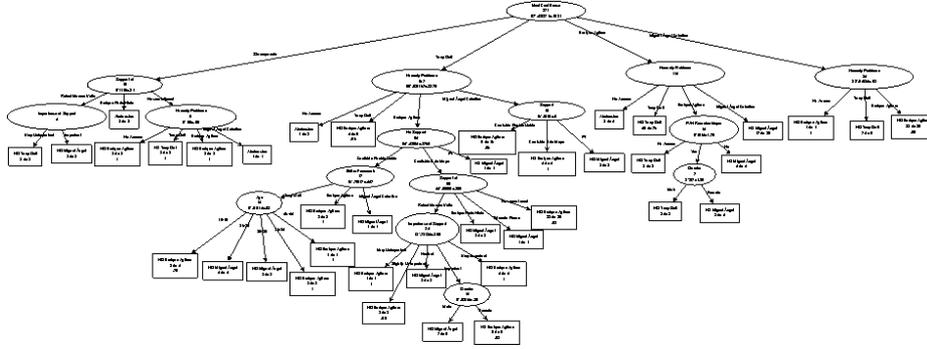


Fig. 2. Tree with relevant attributes for candidate: Enrique Agüera

Assuming that each leaf node of the tree has associated a pair of values:  $(p^+, prec^+)$ , where  $p^+$  is the ratio of the ‘positive class’, i.e.  $p^+ = (num^+)/numTotal$ , being  $num^+$  the number of cases having the positive value of class and  $numTotal$  the total number of cases in the node, that is:  $numTotal = (num^+) + (num^-)$ , where  $num^-$  is the number of cases classified with a class value different to ‘positive class’. And the precision of that classification node is denoted by  $prec^+ = \frac{(num^+)}{numTot^+}$ , being  $numTot^+$  the total number of rows on the learning matrix reaching the leaf node that satisfy the values of the attributes on the path, but they coincide or not with the ‘positive class’.

Let us refer as *Order* to the following procedure that builds a linear hierarchy on the attributes of a classification tree:

1. To each leaf node:  $Nh$ , its weight is calculated on the value of positive class, as:  $PN^+ = p^+ \cdot prec^+$ .
2. Calculate the weight of an internal node:  $NH_i$  where all of its children nodes are leaf nodes, as:  $PN^+ = p^+ \cdot prec\_prom^+$ , where  $prec\_prom^+$  is the average of the precision over all positive leaf nodes (leaf nodes having ‘positive class’ value).
3. If the internal node  $N_i$  has as children nodes both leaf nodes and other internal nodes, its weight is computed as:  $PN^+ = (p^+) \cdot (prec\_prom^+)$  where  $prec\_prom^+ = \text{average}\{prec^+ : \text{both positive leaf nodes and internal nodes with descendants having positive leaf nodes}\}$ .

For each attribute  $At$  that appears as label of a node of the classification tree, its weight, denoted as  $PAt$ , is calculated as:  $PAt = PN^+_{At}$  where  $PN^+_{At}$  is the weight calculated previously for the node labeled for the attribute  $At$ .

When a same attribute appears in multiple nodes of the classification tree, let say that the attribute  $At$  appears in the nodes  $N_1, \dots, N_r$  of the same tree, then  $PAt = \sum_{i=1}^r PN^+_i$ . And finally, the attributes are ordered decreasingly, according to the value  $PAt$ .

The previous algorithm computes the weights associated to the nodes of the tree in post-order, advancing from children to parent. Notice that the algorithm *Order* builds a

linear hierarchy among the attributes for any decision tree that has associated the values  $p^+$  and  $prec^+$  in each leaf node of the tree.

In our application, *Order* builds a linear hierarchy among the main attributes in favor of each candidate. However, the recognition of profiles of voters who do not want to support a particular candidate is also important, because this will allow to determine improved campaign strategies. Therefore, we also build a linear hierarchy on the attributes expressing non support (antagonism) to each candidate. Both hierarchies allow us to measure the preferences and the oppositions for the candidates.

We show in Table 1 and Table 2, the results of applying *Order* on the decision trees classifying as in favor and against each candidate of the considered contest. The list of attributes appearing in both tables resulting to be the most relevant attributes for determining favorable and unfavorable preferences of the voters.

Table 1 allows identifying that the main asset of the first candidate (Tony Gali) is that voters perceive that he counts with a very good campaign infrastructure. The second advantage is that voters are willing to support him, that is still above of the first asset of the other candidate, i.e. that people do not want to vote for the candidate of the party in office.

On the other hand, the main issue affecting the second candidate (Enrique Agüera) is the doubts of voters about his probity, as shown in Table 2. This disadvantage of Enrique Agüera is even quite upper than the obtained for other candidates. Also, the total of the unfavorable issues is overwhelming against the candidate.

**Table 1.** Attributes with Weights Favourable for Candidates

| Preferred Candidate            |        |                                |        |
|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| Tony Gali                      |        | Enrique Agüera                 |        |
| Attributes                     | Weight | Attributes                     | Weight |
| Better Campaign Infrastructure | 56.71  | No Vote                        | 39.23  |
| Support                        | 43.16  | Better Campaign Infrastructure | 16.22  |
| No Vote                        | 37.75  | No Support                     | 1      |
| Party (PAN) Remains in Office  | 0.28   | Support of                     | 0.57   |
| Support of                     | 0.14   |                                |        |
| Total                          | 138.04 | Total                          | 57.02  |

## 5 Applying Game Theory

In economic as in political or social relations, it is common to find situations in which, as in games, the result depends on the conjunction of decisions made by different agents. In the theory of non-cooperative games, a zero sum game describes a situation in which the gain or loss of a player is balanced exactly with losses or gains of the other players [9]. This is called zero sum because if one adds the total earnings and subtracts the total losses of the participants, the final result is zero.

**Table 2.** Attributes with Weights Unfavorable for Candidates

| Non-Preferred Candidate       |        |                                |        |
|-------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| Tony Gali                     |        | Enrique Agüera                 |        |
| Attributes                    | Weight | Attributes                     | Weight |
| Honesty Problems              | 28.01  | Honesty Problems               | 62.81  |
| Most Confidence               | 16.07  | No Support                     | 34.71  |
| Party (PAN) Remains in Office | 1.78   | Most Confidence                | 34.71  |
| Support of                    | 1.56   | Support of                     | 30.89  |
| Gender                        | 1.28   | Support                        | 6.25   |
| Importance of Support         | 1      | Importance of Support          | 6      |
|                               |        | Better Campaign Infrastructure | 5.88   |
|                               |        | Age                            | 4.57   |
|                               |        | Gender                         | 1.78   |
| Total                         | 49.7   | Total                          | 187.6  |

When modeling democratic elections, it is known that a voter may choose only one candidate, which implies that, of the total population, a vote cast for a candidate must be subtracted from the number of votes possible to the other candidates. This is exactly how zero-sum games work. Thus, the distribution of votes among candidates is modeled as a zero sum game, where votes of a population is distributed among the candidates participating in the election, and in the case of our model, another participant is added to accumulate the null votes.

The distribution of votes among candidates is simulated (including the 'canceled votes'), based on the linear hierarchy of attributes obtained in the previous section, that characterize the profiles in favour and against each of the candidates. The vote distribution procedure is as follows:

1. Algorithm C4.5 is applied to build a new decision tree taking as class attribute: *Gender*, which is one of the most distinguishable features among voters. The attributes 'High confidence' and 'Would not vote for' are removed from the learning matrix, since they were attributes previously used as the class to build profiles of voters.
2. Algorithm *Order* is applied on this latter decision tree to build a new linear hierarchy on the tree attributes. The idea is that this latter hierarchy characterizes in a general way voters, differentiating them only by gender: Male or Female, so we call it General Hierarchy.
3. The list of attributes of the General Hierarchy is intersected with the list of attributes of the hierarchy 'in favour' of candidates and also intersected with the list of attributes of the hierarchy 'against' candidates, to prune the attributes that are not held as relevant for a general characterization of the voters.
4. The relative proportions of the attributes that characterize 'in favour' are added, as well as the proportions of the attributes that characterize 'against':
$$Cand_1-At^+ = \sum_{i=1}^m Attribute_i^+ \cdot Cand_1,$$

$$Cand_1-At^- = \sum_{i=1}^m Attribute_i^- \cdot Cand_1$$
 And this is done for each of the candidates.
5. To calculate the expected number of votes per candidate, the following formula is applied:

$$Votes_{Cand_1} = (Cand_1-At^+) \cdot (\#Voters_{inFavour})$$

$+ (Cand_1_{At^-}) \cdot (\#VotersAgainst)$

doing the same for each candidate, and the resulting value represents the expected number of votes that the candidate will get in the election.

6. The expected relative percentages for each of the  $n$  candidates can be calculated as:

$$\%Cand_i = \frac{Votes\_Cand_i}{Total\_Votes}, i = 1, \dots, n$$

where  $Total\_Votes = \sum_{i=1}^n Votes\_Cand_i$ .

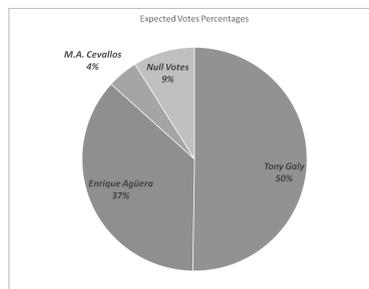
The resulting percentages are the proportions of the expected vote for each candidate.

### 5.1 Electoral Surveying

Based on the weights in Tables 1 and 2, and applying the previously presented procedure for vote distribution, the expected percentages of votes for the candidates are obtained and presented in Figure 3. This figure includes a third candidate in the contest (M.A. Cevallos) and the expected number of null votes.

Although in the basic statistics, both candidates have obtained a same number of favourable votes, the application of our model provided additional information that statistical methods can not assess. For example, the profile of the followers for one of the candidates is more homogeneous because he obtains a higher positive weight (preferred candidate) and a less negative weight (non-preferred candidate) than the values obtained for the other candidates. This last result was confirmed with the actual values obtained in the election, where the candidate with the more homogeneous followers won the contest.

Figure 4 includes the results taken from the official web page (in Spanish). This chart details the candidate coalitions or parties in  $x$  axis, and the number of votes in the  $y$  axis. The first lefmost bar is labelled for the party coalition that supported the candidate Tony Gali and the second bar for Enrique Agüera, also competing in coalition. Note also that the expected number of null votes predicted by the model coincided with the actual proportion (fourth bar), i.e. was higher than the candidate in third place.



**Fig. 3.** Vote Distribution according to our Electoral Prospection Model

In elections held on July 4, 2013, Tony Gali won the election for 9.05 points ahead of his closest contender Enrique Agüera. While the results of our model: Decision Trees + Heuristics to build a hierarchy of attributes + Distribution of Votes, obtained a difference of 13.71 points in favour of Tony Gali, the difference between actual and our result is 4.66 percentage points, being acceptable for a computer model that predicted the expected results of the election, four days ahead of the election date.

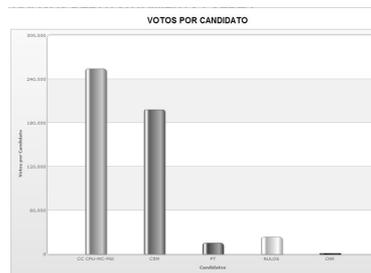


Fig. 4. Final Percentages of Votes, as Declared by the Electoral Institute of the State of Puebla

## 6 Conclusions

We have shown here that learning algorithms can be applied to determine the most relevant attributes characterizing the political preference of a population (called the profiles of the voters), in favour and against each of the contending candidates in a democratic election. The set of profiles is automatically generated after processing the opinion polls via learning algorithms.

We proposed a new method to obtain a linear hierarchy on the attributes that appear in a decision tree. The attributes hierarchy weights the number of instances which have chosen a specific class value, and whose logical rules (paths) passes through the attributes in question.

So, if one wishes to characterize political preferences of a population, it is important to determine which attributes are more relevant than other. But this hierarchy has to balance the attributes according to whether there are more (or less) voters who use that attribute to make its political decision.

In the election of our case study, the contest was won by the candidate with 9.05 percentage points above its nearest competitor. The difference between reality and our model was 4.66 percentage points, whereas traditional statistical methods had obtained a tie between the two leading candidates. The results of our model represent an acceptable outcome for a computer model that predicted the expected results of the election, four days prior to the election date.

Our approach has implication for political science, where it can support analysis of the main issues concerning the electorate, from the public opinion expressed in

social media. We foresee that our methodology can also be applied to model product advertising campaigns, where from customer surveys, it can characterize the product of interest, in addition to contrast such product against other competing advertised goods.

## **References**

1. Hans Ulrich Buhl, *From Revolution to Participation: SocialMedia and the Democratic Decision-Making Process*, BISE Editorial, 2011.
2. D. Borrajo, *Inteligencia artificial: métodos y técnicas*, Centro de Estudios Ramón Areces, 1997.
3. Bouckaert, R. and Frank, E. and Hall, M. and Kirkby, R. and Reutemann, P. and Seewald, A. and Scuse, D., *Weka Manual for Version 3-6-6*, University of Waikato, 2008.
4. Burstein, Frada and Holsapple, CW., *Handbook on Decision Support Systems 1: Basic Themes*, International Handbooks on Information Systems, Springer, 2008.
5. Camarero, L. and Almazán, A. and Arribas, J.M. and Mañas, B. and Vallejos, A.F., *Estadística para la investigación social*, Alfaomega Edit, 2013.
6. Gloor, P. A. and Krauss, J. and Nann, S. and Fischbach, K. and Schoder, D., *Web Science 2.0: Identifying Trends through Semantic Social Network Analysis*, ICCSE, 2009.
7. Quant, Marieke and Borm, Peter and Reijnierse, Hans, *Congestion network problems and related games*, European journal of operational research Elsevier, 2006.
8. Quinlan John Ross, *C4. 5: programs for machine learning*, Morgan Kaufmann, 1993.
9. Fernández Ruiz Jorge, *Teoría de juegos. su aplicación en economía*, El Colegio de México, Centro de Estudios Económicos, 2010.



# Un modelo simple para la detección del juicio de implicación textual entre sentencias

Saúl León, Darnes Vilariño, David Pinto, Mireya Tovar y Beatriz Beltrán

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,  
Facultad de Ciencias de la Computación,  
Avenida San Claudio, 14 Sur, Ciudad Universitaria.  
Puebla México.

{saul.leon,darnes,dpinto,mtovar,bbeltran}@cs.buap.mx  
<http://nlp.cs.buap.mx>

**Resumen** En el presente trabajo se propone un modelo para descubrir el juicio de implicación textual entre sentencias que incluye el juicio de contradicción. Se propone la selección de un conjunto de características léxicas, sintácticas y semánticas para la conformación de un modelo de clasificación. Los datos tanto de prueba como de entrenamiento fueron ofrecidos en el marco de la conferencia internacional Semeval 2014.

**Palabras clave:** Similitud Semántica, Implicación Textual, Medidas de Similitud Textual

## 1 Introducción

Las aplicaciones automáticas para el Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN), necesitan un mecanismo para detectar cuando dos sentencias implican exactamente lo mismo, una es negación de la otra o cuando no existe implicación entre ellas. En concreto las tareas que más se beneficiarían con este mecanismo son: Sistemas Automáticos de Preguntas y Respuestas, Recuperación de Información, Resúmenes Automáticos, Verificación de Autoría, Atribución de Autoría, entre otras.

Desde el año 2006, resolver este problema se ha convertido en un reto y prácticamente para la mayoría de las aproximaciones desarrolladas los resultados obtenidos dependen mucho de las colecciones de datos [3]. A lo largo de los últimos 3 años, se ha propuesto la competencia SemEval<sup>1</sup> buscando encontrar propuestas que obtengan resultados significativos en corpus diferentes para este tipo de problema. En particular el modelo que se pre-

---

<sup>1</sup> <http://alt.qcri.org/semeval2014>

senta como desarrollo en esta investigación fue una propuesta de solución a la tarea 1 del Semeval 2014: Evaluación de la composición de modelos semánticos de distribución en oraciones completas a través de implicación textual, que fue considerada la subtarea 2. A continuación se explica con detalle cómo se define realmente el problema que es necesario resolver:

Tomando un par de sentencias *A* y *B*, el modelo debe determinar cuando el sentido de *B* puede inferirse a partir de *A*, es decir, *A* implica *B*. Para esta tarea en particular, el modelo debe decidir entre uno de los siguientes juicios de implicación textual:

- **Entailment:** *A* implica a *B*, ambas oraciones significan lo mismo.
- **Contradiction:** *A* contradice a *B*.
- **Neutral:** *A* es neutro con respecto a *B*, cuando ambas oraciones hablan de cosas distintas.

Por ejemplo:

- Juicio de implicación textual: **Entailment**
  - Sentencia *A*: Two teams are competing in a football match.
  - Sentencia *B*: Two groups of people are playing football.
- Juicio de implicación textual: **Contradiction**
  - Sentencia *A*: The brown horse is near a red barrel at the rodeo.
  - Sentencia *B*: The brown horse is far from a red barrel at the rodeo.
- Juicio de implicación textual: **Neutral**
  - Sentencia *A*: A man in a black jacket is doing tricks on a motorbike.
  - Sentencia *B*: A person is riding the bicycle on one wheel.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se discuten las diferentes metodologías desarrolladas para detectar el juicio de implicación textual, en la sección 3 se presentan las características seleccionadas, se discute como se ha abordado el juicio de contradicción y se presenta el modelo propuesto. La sección 4 muestra las características de las colecciones de datos, y el análisis de los resultados obtenidos. Por último en la sección 5 se presentan las conclusiones de la investigación y el trabajo a futuro.

## 2 Trabajo Relacionado

Para resolver el problema de la implicación textual, algunos autores han recurrido a modelos que utilizan fundamentalmente conteo estadístico [11]. Estos modelos explotan diversas medidas de similitud, a partir de un par de oraciones y como resultado confeccionan vectores característicos, los vectores representativos obtenidos alimentan a un algoritmo de aprendizaje supervisado y utilizan algún modelo de clasificación. Algunas de las características que emplean son:

- Métricas Básicas (Cardinalidades de conjuntos):
  - $|A|$
  - $|B|$
  - $|A - B|$
  - $|B - A|$
  - $|A \cup B|$
  - $|A \cap B|$
  - $|A / B|$
  - $|B / A|$
- Métricas de Similitud
  - Coeficiente de Jaccard
  - Coeficiente Dice
  - Coeficiente de Sobrelapamiento
  - Pesos de Coeficientes sobrelapados
  - Similitud Coseno
  - Distancia de Manhattan
  - Distancia Euclideana
  - Distancia de Edit, a nivel de palabras
  - Distancia de Jaro-Winker
- Similitud Semántica
  - Palabra a Palabra
  - Palabra a Oración
  - Oración a Oración
  - Diferencia en las oraciones
  - Coincidencias de Palabra-Etiqueta Discurso
  - No-Coincidencias de Palabra-Etiqueta Discurso
- Relaciones Gramaticales
  - Métricas Basadas en dependencias funcionales (Stanford Parser)
  - Relaciones Parciales
  - Número de Entidades en común

En general esta forma de abordar el problema no permite ofrecer sistemas automáticos que brinden una precisión superior del 60%.

En otras investigaciones se busca el desarrollo de lo que se conoce como patrones de empatamiento [12]. Un patrón de empatamiento se basa en la aparición de términos iguales o similares que comparten un par de oraciones, por ejemplo: *Leonardo Da Vinci painted the Mona Lisa*, y *Mona Lisa is the work of Leonardo da Vinci*, donde el patrón de empatamiento es  $X \text{ paint } Y \rightarrow Y \text{ is the work of } X$ . El uso de plantillas garantiza que la implicación textual será descubierta, no obstante estos patrones de empatamiento son difíciles de construir, ya que son muy particulares. En la actualidad se ha propuesto una

metodología no supervisada para generar patrones de empatamiento sobre un large-scale-corpus [7].

Una vertiente nueva intenta generalizar los patrones extraídos logic-based [1], a continuación se muestra un ejemplo:

- $S_1$ : Leonardo Da Vinci painted the Mona Lisa
- $S_2$ : Mona Lisa is the work of Leonardo da Vinci
- Equivalencia de  $S_1$ :  $isPainterOf(DaVinci, MonaLisa)$
- Equivalencia de  $S_2$ :  $isWorkOf(MonaLisa, DaVinci)$
- Regla generada:  $\forall x \forall y (isPainterOf(x, y) \Rightarrow isWorkOf(y, x))$

Estos axiomas introducidos, hasta el momento aún no logran detectar la idea que transmiten las sentencias, este problema también ha sido abordado utilizando técnicas de preguntas y respuestas, considerando que  $S_1$  es la pregunta y  $S_2$  es la respuesta. Esta metodología también presupone de alguna manera que en la respuesta aparecen términos de la pregunta [6].

En los últimos años se han desarrollado recursos léxicos que han permitido hacer un estudio semántico entre las sentencias, por ejemplo en el trabajo desarrollado por [4] se propone un sistema de reconocimiento de inferencias que utilizan herramientas como: PoS taggers y Dependency Parser, y recursos léxicos tales como: WordNet y Thesaurus de sinónimos.

El problema de todas estas aproximaciones radica en que se extraen características de los datos de entrenamiento, que no necesariamente aparecen en los datos de prueba, lo que dificulta mucho detectar si existe o no implicación textual entre las sentencias. Por otra parte, desde hace varios años, se han introducido la representación mediante grafos para diversas tareas del procesamiento del lenguaje natural, ya que por su estructura permite relacionar de manera correcta y en diferentes niveles la relación entre los términos que forman un determinado texto [5, 10], pero a pesar de los esfuerzos realizados los resultados obtenidos continúan dependiendo del corpus de trabajo.

Todas las metodologías para detectar el juicio de implicación textual han trabajado fundamentalmente sobre los juicios *Entailment* y *No-Entailment*, sin embargo por primera vez se brinda un corpus para detectar el juicio de implicación textual *Contradiction*. En esta investigación se propone un conjunto de características a extraer del par de sentencias y se desarrolla un algoritmo que permite fácilmente detectar el juicio de implicación textual *Contradiction*. La metodología se explica en la próxima sección.

### 3 Metodología propuesta

La metodología propuesta para la detección del juicio de implicación se ha dividido en 2 partes. En la primera parte se propone un conjunto de características que se extraen de ambas oraciones, intentando con esto detectar el sentido de cada una de ellas. En la se-

gunda parte se propone la inclusión de dos características que permiten detectar a través de un algoritmo el juicio de implicación *Contradiction*. Las características extraídas se realizan a nivel de palabras y de caracteres, además se proponen medidas de similitud semántica basadas en conocimiento y medidas de similitud semántica basadas en corpus (Ver tabla 1).

### 3.1 Extracción de Características

A partir de cada par de oraciones, se extraen los  $n$ -gramas de caracteres de 1 a 5 que comparten; así como los *skip*-grama que comparten. Los *skip*-gramas extraídos son saltos a nivel de caracteres sobre cada palabra con intervalos de 1 a 5. También se cuantifican los  $n$ -gramas y *skip*-gramas de las palabras que comparten, con longitud de 1 a 5. La medida de similitud de Jaccard expandida, Un modelo simple para la detección del juicio de implicación textual 5 intenta no solamente detectar si se comparten palabras en ambas oraciones, sino detectar también si ambas oraciones comparten sinónimos [2]. Utilizando la herramienta NLTK2 se han podido introducir las 6 medidas de similitud semántica basadas en conocimiento que esta ofrece. Se incluye además, la métrica ofrecida por Rada [9] en la que la similitud entre cada par de palabras de una oración con respecto a la otra es por medio de PMI y LSA. Esto hace un total de 29 características.

Tabla 1. Características extraídas

| Característica                                      | Tipo                   |
|---|------------------------|
| $n$ -gramas de caracteres y palabras                | Léxica                 |
| <i>skip</i> -gramas de caracteres y palabras        | Léxica                 |
| Coefficiente de Similitud de Jaccard con sinónimos  | Léxica                 |
| Similitud de Leacock & Chodorow a nivel de palabras | Basada en conocimiento |
| Similitud de Lesk a nivel de palabras               | Basada en conocimiento |
| Similitud de Wu & Palmer a nivel de palabras        | Basada en conocimiento |
| Similitud de Resnik a nivel de palabras             | Basada en conocimiento |
| Similitud de Lin a nivel de palabras                | Basada en conocimiento |
| Similitud de Jiang & Conrath a nivel de palabras    | Basada en conocimiento |
| Métrica de Rada Mihalcea usando PMI                 | Basada en corpus       |
| Métrica de Rada Mihalcea usando LSA                 | Basada en corpus       |

Con las características anteriormente expuestas no es tan simple detectar cuando el juicio de implicación textual es *Entailment* o *Contradiction*, es por ello que se propone agregar otras 2 nuevas características, que se discuten a continuación.

<sup>2</sup> <http://www.nltk.org>

### 3.2 Tratamiento de la Implicación Textual

Se busca la aparición de palabras que denotan contradicción en alguna de las 2 oraciones. Se comienza analizado si en alguna de las oraciones existe alguna palabra que tenga como sufijo: *n't*, además se busca la aparición de algunas de las siguientes palabras: no, not, none y nobody. Además como pueden existir pares de oraciones que se nieguen totalmente sin considerar la negación de manera explícita, se propone introducir la detección de la presencia de antónimos en alguna de ellas. Esto se resuelve de la siguiente manera a una variable se le asigna el valor 1 si en alguna de las oraciones que conforman el par aparece alguna de las 4 palabras o algún antónimo en la oración complementaria. Si no hay aparición alguna de estos elementos, a la variable se le asigna el valor 0.

Para reforzar las características extraídas anteriormente, para el caso de juicio *Entailment*, se le asigna a una variable 1 si en alguna de las 2 oraciones hay presencia de sinónimos, en caso contrario dicha variable almacena el valor 0. La descripción de este proceso se muestra en el Programa 1.

---

**Programa 1** Detección de implicación textual.

---

*Detectar Empatamiento*

```
program detectar_empatamiento(esNegado: Integer; esSinonimo: Integer)
var
  S_1: Sentencia 1
  S_2: Sentencia 2
  sinonimos: Diccionario de Sinonimos
  antonimos: Diccionario de Antonimos
  negacion: Diccionario con las palabras: no, not, none y nobody
begin
  esNegado := 0;
  esSinonimo := 0;
  H_1 := Conjunto(Lematizar(S_1));
  H_2 := Conjunto(Lematizar(S_2));
  H_interseccion := H_1.interseccion(H_2);
  H_1 := H_1 - H_interseccion
  H_2 := H_2 - H_interseccion

  for T_i in H_1
    if T_i in negacion OR TerminaCon(T_i, "n't")
      esNegado = 1
  for T_i in H_2
    if T_i in negacion or TerminaCon(T_i, "n't")
```

```
    esNegado = 1

    if esNegado == 0
        for T_i in H_1
            for T_j in H_2
                if T_i in antonimos[T_j] OR T_j in antonimos[T_i]
                    esNegado = 1;
                    break;
        for T_i in H_1
            for T_j in H_2
                if T_i in sinonimos[T_j] or T_j in sinonimos[T_i]
                    esSinonimo = 1;
                    break;

    return esNegado, esSinonimo;
end.
```

---

Finalmente se confecciona un vector representativo de cada par de sentencias con 31 características, y se propone desarrollar un modelo de clasificación, que considere cada una de las clases que conforman los juicios de implicación textual dados en el corpus de entrenamiento. El modelo se desarrolla utilizando como clasificador la máquina de soporte vectorial. Una vez construido el modelo se clasifican los datos de prueba.

## 4 Resultados experimentales

A continuación se describen los datos que permitieron validar el modelo desarrollado.

### 4.1 Conjunto de Datos

Se parte de dos conjuntos de datos, uno de entrenamiento y otro de prueba. Los datos fueron proporcionados como parte de la tarea 1, subtarea 2, del SemEval-2014 [8]. Los datos de entrenamiento están compuestos por: 2,536 pares de oraciones neutrales, 1,299 pares con empatamiento y 665 oraciones contradictorias.

Para probar el modelo desarrollado se ofreció un corpus formado por 4,927 pares de oraciones.

### 4.2 Resultados Obtenidos

Esta propuesta fue enviada a la conferencia SemEval-2014 y en la tabla 2 se muestran los resultados alcanzados. Nuestra propuesta se reconoce como **BUAP\_run1**.

El modelo desarrollado obtuvo el séptimo lugar de 18 equipos participantes, con una precisión de más del 79%. A pesar de que no se sabe cuántas categorías reales se han detectado se puede decir que el desempeño de la propuesta es bueno. En el proceso de validación de la propuesta desarrollada, aplicamos para entrenar validación cruzada a 10 pliegues, y se detectó que la inclusión de las últimas 2 características (esNegado y esSinonimo) permitió detectar con una precisión del 92% el juicio de *Contradiction* y con una precisión del 80% al juicio de *Entailment*.

## 5 Conclusiones y recomendaciones

En el presente trabajo se describe la propuesta enviada por nuestro grupo de investigación a la conferencia internacional SemEval-2014, tarea 1 subtarea 2.

El desempeño logrado ha sido muy satisfactorio, si se piensa que solamente se ha trabajado con vectores representativos de cada par de oraciones que incluyen 31 características. Se ha experimentado con características de diferentes tipos, a nivel de caracteres, a nivel de palabras, métricas basadas en conocimiento y métricas basadas en corpus. Los resultados obtenidos permiten determinar que las características extraídas le han permitido al sistema obtener resultados importantes, prácticamente con un 80% de precisión.

**Tabla 2.** Resultados de la Tarea 1, subtarea 2 del SemEval-2014

| ID del Equipo            | Precisión     |
|--------------------------|---------------|
| Illinois-LH_run1         | 84.575        |
| ECNU_run1                | 83.641        |
| UNAL-NLP_run1            | 83.053        |
| SemantiKLUE_run1         | 82.322        |
| The_Meaning_Factory_run1 | 81.591        |
| CECL_ALL_run1            | 79.988        |
| <b>BUAP_run1</b>         | <b>79.663</b> |
| UoW_run1                 | 78.526        |
| CDT_run1                 | 77.106        |
| UIO-Lien_run1            | 77.004        |
| FBK-TR_run3              | 75.401        |
| StanfordNLP_run5         | 74.488        |
| UTexas_run1              | 73.229        |
| Yamraj_run1              | 70.753        |
| asjai_run5               | 69.758        |
| haLF_run2                | 69.413        |
| CNGL_run1                | 67.201        |
| UANLPCourse_run2         | 48.731        |

Sin embargo, aún no se han introducido mecanismos de inferencia, que de alguna manera le permita al sistema detectar que hay pares de oraciones que comparten mucho y no existe implicación textual entre ellas y hay pares de oraciones que no comparten nada y expresan exactamente lo mismo. Como trabajo a futuro se considera incluir vectores de contexto para estudiar el grado de correlación entre las diferentes palabras que conforman todo el corpus, y patrones de empatamiento (*matching patterns*) entre los pares de sentencias.

## **Referencias**

1. Johan Bos. Is there a place for logic in recognizing textual entailment? *Linguistic Issues in Language Technology*, 9, (2013)
2. Maya Carrillo, Darnes Vilarino, David Pinto, Mireya Tovar, Saul León, and Esteban Castillo. Buap: three approaches for semantic textual similarity. In *Proceedings of the First Joint Conference on Lexical and Computational Semantics-Volume 1: Proceedings of the main conference and the shared task, and Volume 2: Proceedings of the Sixth International Workshop on Semantic Evaluation*, pages 631–634. Association for Computational Linguistics, (2012)
3. Ido Dagan, Oren Glickman, and Bernardo Magnini. The pascal recognising textual entailment challenge. In *Machine learning challenges. evaluating predictive uncertainty, visual object classification, and recognising textual entailment*, pages 177–190. Springer, (2006)
4. Min-Yuh Day, Chun Tu, Shih-Jhen Huang, Hou Cheng Vong, and Sih-Wei Wu. Imtku textual entailment system for recognizing inference in text at ntcir-10 rite-2. In *Proceedings of the 10th NTCIR Conference*, (2013)
5. Aria D Haghighi, Andrew Y Ng, and Christopher D Manning. Robust textual inference via graph matching. In *Proceedings of the conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing*, pages 387–394. Association for Computational Linguistics, (2005)
6. Sanda Harabagiu and Andrew Hickl. Methods for using textual entailment in open-domain question answering. In *Proceedings of the 21st International Conference on Computational Linguistics and the 44th annual meeting of the Association for Computational Linguistics*, pages 905–912. Association for Computational Linguistics, (2006)
7. Milen Kouylekov and Bernardo Magnini. Building a large-scale repository of textual entailment rules. In *Proceedings of LREC*, (2006)
8. Marco Marelli, Stefano Menini, Marco Baroni, Luisa Bentivogli, Raffaella Bernardi, and Roberto Zamparelli. A sick cure for the evaluation of compositional distributional semantic models. In Nicoletta Calzolari (Conference Chair), Khalid Choukri, Thierry

- Declerck, Hrafn Loftsson, Bente Maegaard, Joseph Mariani, Asuncion Moreno, Jan Odijk, and Stelios Piperidis, editors, Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14), Reykjavik Iceland, European Language Resources Association (ELRA). may (2014)
9. Rada Mihalcea, Courtney Corley, and Carlo Strapparava. Corpus-based and knowledge-based measures of text semantic similarity. In *AAAI*, volume 6, pages 775–780, (2006)
  10. Rada Mihalcea and Dragomir Radev. *Graph-based natural language processing and information retrieval*. Cambridge University Press, (2011)
  11. Jiang Zhao, Man Lan, and Zheng-yu Niu. Ecnucs: Recognizing cross-lingual textual entailment using multiple text similarity and text difference measures. Atlanta, Georgia, USA, page 118, (2013)
  12. Shiqi Zhao, Xiang Lan, Ting Liu, and Sheng Li. Application driven statistical paraphrase generation. In Proceedings of the Joint Conference of the 47th Annual Meeting of the ACL Volume 2, pages 834–842. Association for Computational Linguistics, (2009)

# Monitoreo de la estrategia de una casa de empeño utilizando una herramienta de inteligencia de negocios

Marcelo Mejía, Alejandra Barrera, Mario Ríos, Carlos Piedra

Instituto Tecnológico Autónomo de México, Distrito Federal, México  
(marcelo.mejia, abarrera)@itam.mx

**Resumen.** La estrategia de una casa de empeño puede monitorearse de manera efectiva utilizando un cuadro de mando conectado en tiempo real a tableros de control. El cuadro de mando se implementa utilizando QlikView y visualiza los indicadores clave de desempeño definidos para la casa de empeño para el tema estratégico de servicio. La implementación realizada siguió la metodología de Ciclo de Vida propuesta por Ralph Kimball para desarrollar *datamarts*: definición de los requerimientos de negocio, modelado dimensional, diseño físico, proceso ETL y despliegue.

**Palabras clave:** Implementación, Estrategia, Inteligencia de Negocios, Modelado dimensional, QlikView

## 1 Introducción

Al sector de bajos ingresos de la población que no cuenta con un salario fijo le es difícil conseguir préstamos bancarios por no cubrir los requisitos crediticios necesarios. Como alternativa, existe el crédito prendario, que funciona otorgando un porcentaje de préstamo sobre el valor de un bien tomado en garantía, esto es llamado empeño. La razón de dejar un bien empeñado es proporcionar al prestatario un fuerte incentivo para pagar, y al prestamista, los medios para cubrir los costos implícitos en los riesgos de incumplimiento y los relacionados con la posibilidad de vender el objeto empeñado. Existen los créditos prendarios informales, las cuales funcionan con un esquema similar a los agiotistas: mientras en un esquema se firma un pagaré entre las partes, en el otro se deja un bien en garantía. Existen también los créditos prendarios formales, como los otorgados por los montepíos legales, que tienen fines caritativos, y por las casas de empeño con fines de lucro. Los factores principales que definen la selección de una casa de empeño son la seguridad, la ubicación, la tasa de interés y el servicio: avalúo honesto, rapidez y cortesía.

Las casas de empeño tienen presencia en México desde 1775, cuando se instaló en la capital mexicana la primera de ellas. Actualmente existen poco más de 6,000 instituciones prendarias en el país, entre instituciones de asistencia privada y las que tienen fines de lucro. Los puntos de venta o sucursales rebasan los 8,000 distribuidos a lo largo y ancho de la

República. Para 2010, las casas de empeño pequeñas bien establecidas recibían entre 20 y 40 prendas por día, lo cual representa mensualmente alrededor de 1,000 empeños. Si se trata de una casa de empeño con cientos de sucursales, el total de operaciones prendarias básicas anuales asciende a más de 21 millones.

En una casa de empeño con múltiples sucursales es necesario contar con un proyecto de Inteligencia de Negocios que consolide sus bases de datos y que permita a su vez alimentar los indicadores que diariamente puedan ser utilizados para monitorear la estrategia del negocio y así poder tomar decisiones para el bienestar de la empresa. Aun cuando las casas de empeño basan la administración del negocio en la correcta definición de su misión, visión y objetivos estratégicos, en su mayoría no conocen qué medir y cómo hacerlo para cumplir con esos objetivos.

Este artículo documenta la aplicación de métodos y herramientas de Inteligencia de Negocios a la identificación, definición y monitoreo de indicadores de desempeño alineados a los objetivos estratégicos de una casa de empeño que se despliegan en un cuadro de mando integral. El artículo está organizado en las siguientes secciones: la Sección 2 menciona los conceptos involucrados en el contexto del trabajo, la Sección 3 describe la aplicación de los métodos y herramientas de Inteligencia de Negocios para el caso de la casa de empeño, y la Sección 4 presenta las conclusiones del trabajo.

## 2 Marco de referencia

La disciplina de Administración de Desempeño de los Negocios (BPM, por sus siglas en inglés) establece las actividades necesarias para alinear la estrategia del negocio con su implementación como parte del ciclo Establecer estrategia, Planear, Monitorear/Analizar y Actuar/Ajustar [1]. La fase de establecimiento incluye la definición de los objetivos del negocio así como los indicadores claves de desempeño (KPIs, por sus siglas en inglés) que los materializan y las iniciativas que deben ejecutarse para cumplirlos. La fase de monitoreo y análisis permite comparar los valores actuales de los KPIs con las metas preestablecidas para poder actuar de manera oportuna ajustando la ejecución de las iniciativas.

El cuadro de mando integral (BSC, por sus siglas en inglés) propuesto por Kaplan y Norton [2] postula definir objetivos (incluyendo KPIs, metas e iniciativas) en cuatro perspectivas para contar con una estrategia balanceada. Los objetivos de las diferentes perspectivas (financiera, clientes, procesos internos y aprendizaje) están relacionados entre sí por medio de relaciones causa-efecto que se visualizan en un mapa de estrategia. Dentro de este mapa, los objetivos que se encuentran íntimamente relacionados se agrupan en temas estratégicos.

La fase de monitoreo y análisis de BPM se apoya en técnicas y herramientas de Inteligencia de Negocios (BI, por sus siglas en inglés). Los datos de desempeño de los diversos procesos operacionales se transforman en información mediante un proceso de Extracción, Transformación y Carga (ETL, por sus siglas en inglés) que permite consolidar, organizar

y agregar los datos utilizando un modelo dimensional [3]. Este proceso de transformación se realiza periódicamente, de manera automática, de acuerdo a la dinámica del negocio.

El modelo dimensional generado por el proceso de ETL contiene los hechos relevantes del negocio (como la cantidad y monto de los préstamos) y las dimensiones que les dan contexto (como el mes o la sucursal). Este modelo puede entonces reflejar los KPIs definidos en el BSC y ser analizado mediante tableros de control (*dashboards* [4]).

### 3 Métodos

A partir de la misión y visión de la empresa se formula la estrategia del negocio, la cual se ve reflejada en los objetivos del cuadro de mando integral, agrupados en temas estratégicos. Los objetivos estratégicos se miden a través de la definición de indicadores clave de desempeño. Estos indicadores son calculados a partir de un modelo dimensional que se construye a partir de los procesos operacionales y se nutre de sus sistemas de información a través del proceso de ETL. Los indicadores son visualizados por medio de una herramienta de BI que genera los tableros de control que se despliegan a toda la empresa.

#### 3.1 Formulación de un tema estratégico del cuadro de mando integral a partir de los objetivos estratégicos

La casa de empeño tratada en este estudio es una Institución de Asistencia Privada que actualmente tiene más de 300 sucursales y para su operación cuenta con alrededor de 3,500 empleados. Su misión es maximizar el beneficio para la sociedad mexicana, generado a través de la operación prendaria, de otros servicios financieros y de acciones asistenciales de alto impacto. Su visión, en tanto, consiste en ser la institución privada y altruista líder de los sectores prendario y asistencial, con capacidad de transformar estos sectores al ofrecer la mejor combinación de productos, calidad y servicio, con una gestión eficiente y rentable.

Los objetivos estratégicos definidos por la cúpula directiva de la empresa son:

- Continuar la apertura de oficinas a nivel nacional.
- Aumentar el número de operaciones prendarias.
- Mejorar sustancialmente el servicio y la atención al cliente.
- Mejorar significativamente la eficiencia administrativa.
- Mejorar continuamente el proceso de otorgamiento de donativos.
- Reforzar el apoyo a pequeños comerciantes al comercializar la venta de sus productos a través de las almonedas.

Estos objetivos fueron considerados para determinar los vínculos causa-efecto del mapa estratégico de la empresa. La figura 1 muestra el tema estratégico de (calidad de) servicio del cuadro de mando de la casa de empeño e ilustra cómo el logro y cumplimiento de las metas en una perspectiva repercute en el cumplimiento de las perspectivas superiores.



Fig. 1. Tema estratégico de servicio para la casa de empeño (vínculos causa-efecto).

### 3.2 Definición de indicadores de desempeño, metas e iniciativas

Los indicadores seleccionados para formar el cuadro de mando representan una herramienta para medir, gestionar la estrategia y comunicar a toda la compañía los resultados y los impulsores a los que la empresa recurre para cumplir su misión y alcanzar sus objetivos estratégicos.

Conforme a los objetivos estratégicos de la casa de empeño, se realizó un inventario de todas las iniciativas que se aplican actualmente, se empataron con indicadores, se eliminaron las iniciativas no estratégicas y se priorizaron las iniciativas restantes. Así, ejemplos de los objetivos, indicadores, valores meta e iniciativas determinadas para cada perspectiva del cuadro de mando de la casa de empeño, para el tema estratégico de servicio, se presentan en la Tabla 1.

### 3.3 El modelo de datos dimensional

Para el desarrollo del cuadro de mando se consideraron como fuentes de datos los sistemas de información que apoyan tanto la operación como la administración de la capacitación de los recursos humanos. Específicamente, se utilizaron el Sistema de Operación Prendaria y Comercial, un sistema transaccional implementado en todas las sucursales que permite el registro de cada una de las operaciones (empeños, desempeños, refrendos, pases a almoneda y pagos de demasías), y hojas de cálculo que incluyen las matrices de capacitación, cada una de ellas con un conjunto de cursos para apoyar la profesionalización de los empleados.

**Tabla 1.** Ejemplos de objetivos en el BSC.

| <b>Perspectiva Financiera</b>                   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| Objetivos                                       | Indicadores                                | Metas  | Iniciativas  |
| Utilidad  | Ingresos totales                           | Valor anual total mayor o igual al 30% comparado con el ejercicio anterior | 1. Ampliar horarios de apertura en las sucursales<br>2. Publicidad y promoción                 |
|   | Total de prendas                           | Incremento del 25%   | Reducir la tasa de interés   |
| <b>Perspectiva de Clientes</b>                  |  |  |  |
| Objetivos                                       | Indicadores                                | Metas  | Iniciativas  |
| Retención                                       | Tasa de recurrencia de pignorantes         | Tasa mínima del 80%  | Programa de pignorantes frecuentes (tarjeta)   |
| Satisfacción del cliente                        | Calificación del servicio                  | 95% de calificación "Bueno"  | Incluir en el proceso de desempeño la pregunta: "¿Cómo calificaría el servicio, bueno o malo?" |
| <b>Perspectiva de Procesos Internos</b>         |  |  |  |
| Objetivos                                       | Indicadores                                | Metas  | Iniciativas  |
| Calidad del servicio                            | Tiempo de atención en proceso de empeño    | Tiempo menor o igual al 50% comparado con el año anterior                  | Implementar metodología Six Sigma  |
|   | Tiempo de atención en proceso de desempeño | Tiempo de atención menor o igual al 50%                                    | Implementar metodología Six Sigma  |
| <b>Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento</b> |  |  |  |
| Objetivos                                       | Indicadores                                | Metas  | Iniciativas  |
| Profesionalización de empleados                 | Número cursos por cada empleado            | El 90% de cursos tomados en el año   | 1. Incrementar la difusión de los cursos de capacitación<br>2. Incentivos por capacitación     |
| Planes de capacitación                          | Número de cursos                           | Elevar el número de cursos por sucursal                                    | 1. Diagnosticar necesidades de capacitación<br>2. Nuevas matrices de capacitación              |

Las fuentes de datos son consolidadas diariamente en un manejador de base de datos SQLServer, y la base de datos a explotar, en el contexto del cuadro de mando, se conforma de información derivada de reportes consolidados de cada sucursal con información histórica. A partir de ésta, se obtuvo el margen promedio de incremento anual de operaciones tanto en prendas como en dinero para proyectar cada uno de los siguientes años y establecer metas, considerando una sucursal del mismo tipo tanto en horario como en tamaño.

Posteriormente, se generaron los registros diarios considerando 24 días hábiles por mes para de esta manera llenar el almacén de datos con las proyecciones anuales. El proceso se repite para cada una de las operaciones restantes (desempeños, refrendos, pases y demásías) para las 10 sucursales que fueron seleccionadas para el proyecto.

La construcción del modelo de datos dimensional a utilizar se apega a la metodología del bus de Kimball. En el presente caso de estudio se modelaron los procesos de operación prendaria y de capacitación de empleados, y se definieron tanto la granularidad como las dimensiones y los hechos.

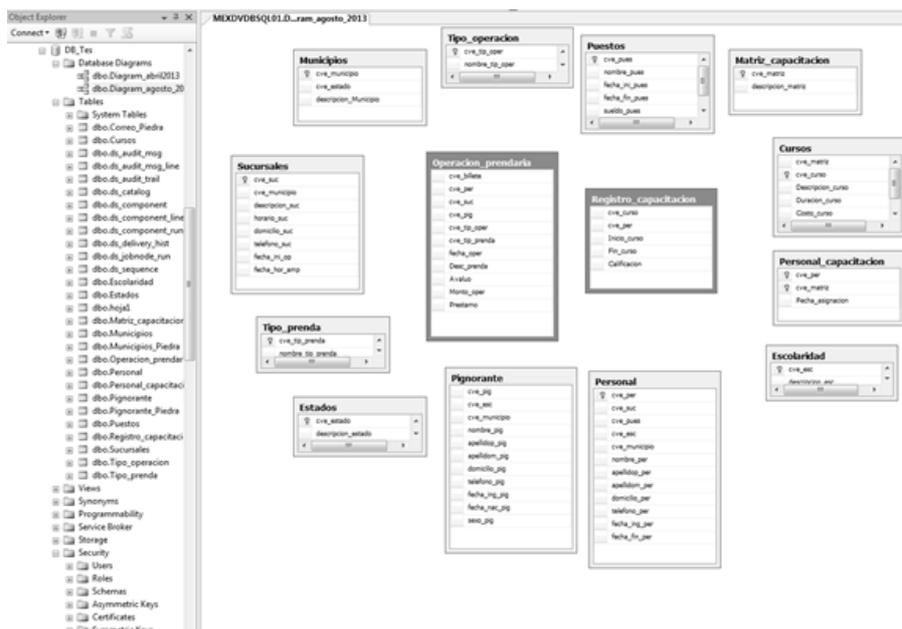


Fig. 2. Tablas de hechos y dimensiones.

El modelo consta de dos estrellas y se documenta en un libro de cálculo, en donde la primera hoja muestra el listado de hechos y dimensiones y el cruce entre ellos, y el resto de las hojas incluye la definición detallada de cada dimensión y hecho (i.e., tipo de dato, base de datos de procedencia, tabla de la base de datos, forma de cálculo, usuario y contraseña de acceso, y opcionalmente un comentario descriptivo). La figura 2 muestra las tablas de hechos y dimensiones contenidos en el modelo de datos.

### 3.4 Proceso ETL

La herramienta de Inteligencia de Negocios QlikView [5] fue seleccionada para el monitoreo eficiente de los indicadores de desempeño del caso de estudio. Los procesos de extracción, transformación y carga del modelo de datos se ilustran en la figura 3. Las operaciones prendarias y comerciales de las sucursales de la casa de empeño se registran en un servidor de base de datos transaccional (Informix), mientras que las operaciones de capacitación relacionadas con el personal de todas las sucursales se registran en hojas de cálculo almacenadas en un servidor de archivos.

Ambas fuentes son consolidadas en un servidor de base de datos SQLServer, el cual es accedido por el servidor de QlikView a través de una aplicación llamada QVD Generator que extrae la información y crea archivos QVD, uno por cada tabla, para ser consultados por otras aplicaciones.

Posteriormente, la aplicación final del usuario aplica las reglas del negocio para procesar los datos contenidos en los QVD y generar las gráficas y tablas requeridas para elaborar y monitorear los indicadores del cuadro de mando integral.

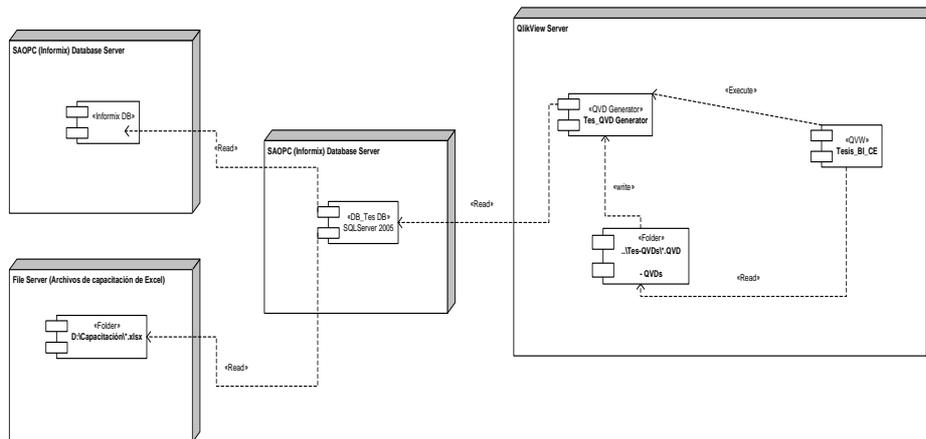


Fig. 3. Proceso ETL.

### 3.5 Desarrollo de la aplicación de inteligencia de negocios

La arquitectura que soporta el desarrollo de la aplicación incluye los siguientes elementos:

- QlikView Client, con una estructura de doble capa semántica; en la primera capa se encuentra la extracción pura de los datos, y en la segunda, el procesamiento de los datos (aplicación de las reglas de negocio) y la interfaz de usuario.
- Publisher y QlikView Server, en la misma máquina física, donde se programa la tarea de recarga y se dan permisos a los usuarios clave.
- Access Point, para permitir al usuario de negocio la consulta de los indicadores del cuadro de mando desde un navegador.

La aplicación final completa en QlikView contiene cinco pestañas. En la primera se encuentran los KPIs del cuadro de mando y en las siguientes cuatro los tableros de control correspondientes a cada una de las perspectivas. En los tableros de control es posible analizar a detalle las métricas que afectan a los KPIs.

La figura 4 muestra el tablero correspondiente a la perspectiva de Aprendizaje, con el detalle de las matrices de capacitación, los cursos tomados por sucursal, el inventario de cursos, la lista de personal, y los registros de capacitación (con calificaciones).

La información puede filtrarse por mes o por año, y pueden realizarse búsquedas específicas.



Fig. 4. Tablero de control de la perspectiva de Aprendizaje.

## **4 Conclusiones**

Una aplicación de BI debería, en la mayoría de las situaciones, tener como fin apoyar la obtención o conservación de una ventaja competitiva. Una forma de lograr esto es utilizar la metodología de BPM y, en particular, alimentar un cuadro de mando integral a partir de la información generada en tableros de control. El uso de herramientas de BI se enfoca entonces en monitorear y analizar lo que es realmente importante para las empresas y, por lo tanto, permite una toma de decisiones relevante en el momento adecuado. En el caso de estudio descrito en este artículo, la casa de empeño puede ahora, por ejemplo, realizar una asignación informada de incentivos, segmentar a sus clientes o realizar experimentos para optimizar sus tasas de interés.

El desarrollo de una aplicación de BI debe hacerse siguiendo una metodología probada. En particular, la metodología de Ciclo de Vida propuesta por Ralph Kimball resultó vital para lograr el éxito en este proyecto. El uso del bus de Kimball permite obtener un modelo dimensional a partir de los procesos de la empresa y los esquemas en estrella resultantes permiten a los usuarios entender la información y poder navegarla de manera sencilla.

El uso de QlikView facilitó el proceso de ETL y la construcción del modelo dimensional. Su lógica asociativa permite el descubrimiento de conocimiento en un ambiente visual centrado en el usuario. QlikView, como otras herramientas modernas de BI, trabaja sobre datos en memoria, por lo que el usuario puede explorar rápida y libremente el modelo dimensional y no está restringido a utilizar cifras precalculadas (como en el caso de los cubos tradicionales).

## **Referencias**

1. Sharda, R., Delen, D. Turban, E.: Business Intelligence and Analytics – Systems for Decision Support. Pearson, Upper Saddle River, New Jersey (2014)
2. Kaplan, R., Norton, D.: The Balanced Scorecard - Measures That Drive Performance. Harvard Business Review. January-February, 71-79 (1992)
3. Mundy, J., Thornthwaite, W., Kimball, R.: The Microsoft Data Warehouse Toolkit. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey (2006)
4. Eckerson, W.: Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing your Business. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey (2011)
5. García, M., Harmsen, B.: QlikView 11 for Developers. Packt Publishing, Birmingham, UK (2012)



# Desarrollo de un sistema de almacenamiento y visualización de series de imágenes tomográficas para el Hospital Regional de Apizaco

Ricardo Ramos, María Guadalupe Medina, José Juan Hernández, Yesenia Nohemí González, David Ibarra

Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala, México.  
ricamos1@icloud.com, lupitamb2@yahoo.com.mx, jjhmora@yahoo.com.mx,  
yeseniaglez@hotmail.com, ibarra\_david50@hotmail.com

**Abstract.** Currently problems caused by the high demand for imaging studies require the application of methods to improve quality and ensure that resources have optimal impact on the health and welfare of the population. SDSRI (Storage and Display System of Radiological Imaging) is a minimal system PACS (Picture Archiving Communication System), which was developed at the Technological Institute of Tlaxcala, and It will be implemented in the Regional Hospital of Tlaxcala "Emilio Sánchez Piedras". The system SDSRI allow the acquisition, processing, storage, retrieval and communication imaging hospital patients. The images and patient information structure will be obtained from the DICOM files decoding (Digital Imaging and Communications System) tomograph from the hospital, to be treated as JPEG images and patient database respectively. The decoding will be using the free library DCM4CHE Java based, therefore the system will be developed in this language. The system is intended to be used only as a client and allow full configuration to meet user needs, establishing a server where each office or authorized area will have access.

**Keywords:** PACS, DICOM, library, processing, database and picture.

## 1 Introducción

La radiología es la rama de la medicina que utiliza sustancias radioactivas, radiación electromagnética y ondas sonoras para crear imágenes del cuerpo, sus órganos y estructuras con fines de diagnóstico y tratamiento. Las imágenes pueden también mostrar la eficacia del funcionamiento del cuerpo, sus órganos internos y estructuras.

En el área de radiología de un hospital, la parte de diagnóstico trabaja con imágenes radiológicas físicas (tomografías, radiografías, entre otros). El acceso a las imágenes radiológicas es en un archivo físico y su búsqueda es manual, lo que impide que su uso sea compartido.

En los últimos años, la tecnología ha avanzado con la construcción de sistemas y su uso no solo es en el área de radiología, sino en clínicas, hospitales pequeños, hospitales completos o en todas las áreas de un hospital. Aplicando el uso de estos sistemas beneficia tanto a la unidad clínica como al paciente, ya que el uso de las imágenes radiológicas es en un formato digital y su acceso es a través de un sistema que permite compartirlas y visualizarlas mediante consultas específicas lo que eficienta los procesos de diagnóstico y académicos.

PACS es un sistema de administración de imágenes que requiere datos pertinentes de otros sistemas de información médica para el funcionamiento eficaz. Entre estos sistemas, está el HIS (Hospital Information Systems), y el sistema RIS (Radiology Information System) que son los más importantes. Muchas funciones en el servidor PACS y servidor de archivos se basan en los datos extraídos de los dos HIS y RIS. [1]

Cuando se trabaja con imágenes digitales de este tipo (radiológicas) se tiene la necesidad de trabajar con un formato que sea legible y además que pueda ser procesado por los equipos. DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) es un estándar que fue creado en 1993 [1], el cual ayuda a que la información contenida en HIS pueda ser entendida y transferida tanto en un RIS como a un PACS con la finalidad de conjuntarla y poder trabajar con ella.

En este proyecto se elaboró un sistema que hace uso del estándar DICOM, el cual se desarrolló para la Jefatura de Enseñanza del Hospital Regional de Apizaco donde se tiene la necesidad de trabajar con un sistema que administre imágenes radiológicas, en el que personal autorizado pueda acceder y compartir las imágenes a través de un sistema de cómputo. El hospital cuenta con aparatos médicos, de los cuales se pueden obtener imágenes en forma digital, pero no se cuenta con algún sistema en el cual se puedan alojar dichas imágenes y el acceso a este material por parte de los médicos a menudo es tardado, sin embargo, con un sistema que administre sus imágenes se tendrá un uso compartido y de fácil acceso. Para fines didácticos la Jefatura de Enseñanza requiere de contar con un sistema que le presente al usuario, conjuntos de imágenes con algunas características en común.

## **2 Metodología**

Las etapas del sistema SAVIR se formularon analizando algunas propuestas [2]-[4] y gran parte de las necesidades del hospital, lo que permitió usar un modelo de desarrollo de

software basado en prototipos, con base a esto se plantearon las siguientes etapas para el desarrollo:

- Adquisición de las imágenes o series de imágenes radiológicas, obtenidas del servidor del tomógrafo del hospital.
- Importar las imágenes obtenidas del servidor del tomógrafo al servidor del sistema SAVIR.
- Tratamiento de los ficheros DICOM tal como decodificación y compresión.
- Decodificación de los ficheros para la obtención de los datos clínicos del paciente.
- Realización de una base de datos/imágenes.
- Consulta de datos e imágenes a través de un visualizador.

Para empezar con el desarrollo del sistema, se parte de un conjunto archivos tipo DICOM obtenidos del tomógrafo del hospital, por lo tanto se tendrán que decodificar para su almacenamiento en el servidor de SAVIR.

Cuando la información y las imágenes se encuentran en la base de datos, sólo queda que el médico de cada área pueda visualizar las imágenes y los datos ya decodificados, según sean sus privilegios.



**Fig. 1** Componentes de SAVIR.

El sistema SAVIR está formado por cuatro módulos: Adquisición, Comunicación, Almacenamiento y Visualización (Ver figura 1), relacionados entre sí, para cumplir con las funciones básicas de un PACS [1].

En la arquitectura de SAVIR (Ver figura 2), se aprecian los módulos mencionados.

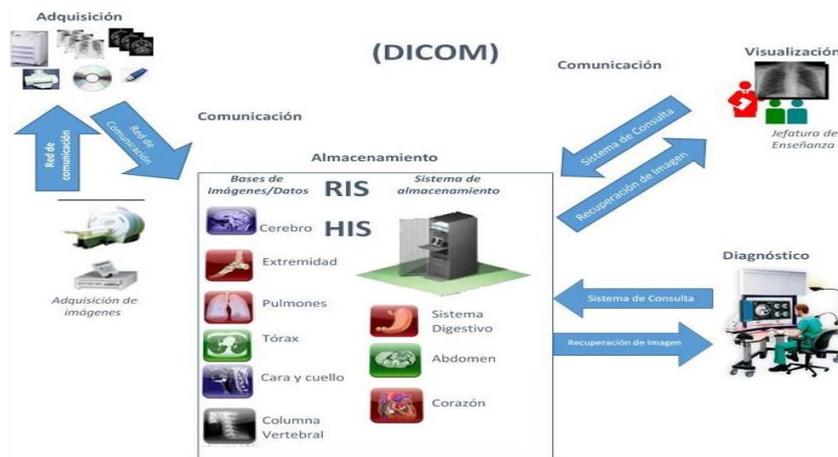


Fig. 2 Arquitectura del Sistema SAVIR.

## 2.1 Adquisición

Este módulo se encarga de la extracción de los ficheros DICOM, que se hace desde el servidor del tomógrafo, donde los ficheros son exportados a algún dispositivo de almacenamiento, que tenga la capacidad de guardar todos los estudios requeridos.

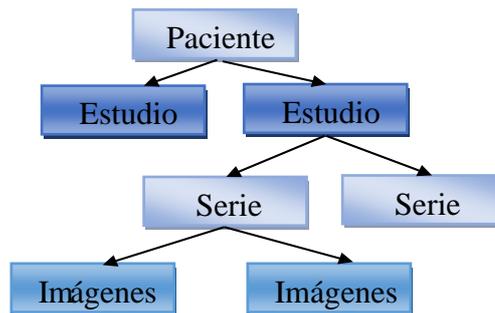
Los estudios tomográficos los extrae el encargado del área de tomografía, exportando solo los estudios que son solicitados por algún médico autorizado por el administrador.

## 2.2 Almacenamiento

Para poder importar todos los estudios recuperados al servidor de SAVIR, el administrador del sistema se ocupará de almacenar los ficheros. La persona que ocupa el papel de administrador contará con el privilegio de realizar esta función, todo esto por cuestiones de seguridad. Aquí, el usuario elegirá una ruta o directorio donde están ubicados los estudios, continuando con una decodificación de los ficheros, basándonos en una librería libre llamada DCM4CHE, que con base al análisis [5]-[6] y a los requerimientos del hospital se concluyó que era la mejor para la implementación.

Cuando se decodifican los archivos, primero se extraen algunos datos de la cabecera DICOM de los ficheros, ésta información se va almacenando en una base de datos dise-

ñada en MySQL. Al mismo tiempo que se hace la decodificación para obtener la información, se hace otra con la finalidad de obtener la imagen del fichero en formato JPEG, almacenando en la base de datos solo la ubicación de esta imagen, para posteriormente procesarla.



**Fig. 3** Estructura de la información DICOM.

La información del paciente está estructurada por cuatro niveles: paciente, estudio, series e imágenes (Fig. 3), que son los que determinan las tablas que conforman la base de datos. La estructura está basada en la información que proporciona el formato DICOM. Un paciente es la parte fundamental, ya que indica que tipo de estudio se le realizó y ese estudio puede tener una o más series que están compuestas de imágenes.

### 2.3 Comunicación

Para la consulta de los estudios, SAVIR dará servicio a las distintas áreas o consultorios del hospital, esta comunicación estará regida bajo un protocolo de comunicación TCP/IP. En donde la comunicación será cliente/servidor y por cuestiones de seguridad los clientes no tendrán comunicación entre ellos.

La comunicación solo estará basada en hacer consultas desde alguna terminal con el sistema SAVIR, hacia el servidor del sistema.

### 2.4 Visualización

Cuando la visualización de un estudio es requerida, se realiza una búsqueda del estudio de interés. El usuario puede consultar estudios por medio de diferentes criterios tales como: nombre del paciente, descripción del estudio, fecha del estudio, médico solicitante, entre

otros. Cuando se obtienen los resultados del o de los pacientes, se continua con la visualización de las series de los estudios.

Al haber elegido algún paciente para la visualización de su estudio, este estudio se muestra en un visualizador, en el que se cuenta con la opción de elegir entre las distintas series con que cuente tal estudio. El visualizador contiene herramientas básicas para el procesamiento de las imágenes [7-8].

Algunas de las herramientas implementadas son:

- Visualización en formato JPEG.
- Zoom max/min.
- Ajustes de Contraste/Brillo
- Rotación
- Regla
- Anotadores (Mano alzada y figuras).
- Visualización de datos de paciente.

### 3 Resultados

Al implementar la librería DCM4CHE ya mencionada, se obtuvieron todos los metadatos de los ficheros DICOM, así como la obtención de las imágenes en formato JPEG con buena calidad ya que no se aprecia pérdida de información.

Con toda la información obtenida se elaboró una base de datos relacional (ver figura 4), que contiene toda la información requerida para poder realizar consultas.

Después de haber realizado la base de datos, se desarrolló en java el sistema para visualización de las tomografías.

En la entrada al sistema hay un combo que solo muestra los médicos dados de alta en el sistema y al administrador con su respectiva contraseña, con el objetivo que sólo tengan acceso a los estudios que ellos mismos solicitaron para sus pacientes, además que no tengan privilegios de acceso a todos los estudios y todas las funciones, ya que solo los tendrá el administrador.

Si el médico o administrador está dado de alta y tiene una contraseña asignada, podrá acceder al sistema (ver figura 5), con la opción de usar diferentes funciones. Si es administrador, tendrá los privilegios de: importar archivos, editar contraseñas, visualizar todos los estudios, ayuda, soporte y salir, es decir todas las funciones. Si se trata de un médico solo podrá tener acceso a soporte, ayuda, salir y consulta de estudios donde solo podrá visualizar los estudios que le pertenecen.

Cuando el médico o el administrador deseen buscar estudios, podrán hacerlo por nombre de paciente, descripción del estudio y fecha (ver figura 6). Se muestra el resultado de la búsqueda de paciente de un estudio específico.

Al tener todos los resultados de las consultas, se elige un estudio y se procede a mostrarlos en un visualizador (ver figura 7) el cual apoya su análisis con herramientas como: Zoom, rotar, brillo, nitidez, marcadores, notas, regla y mostrar la información del paciente.



Fig. 4 Base de datos del sistema SAVIR.



Fig. 5 Funciones de SAVIR .

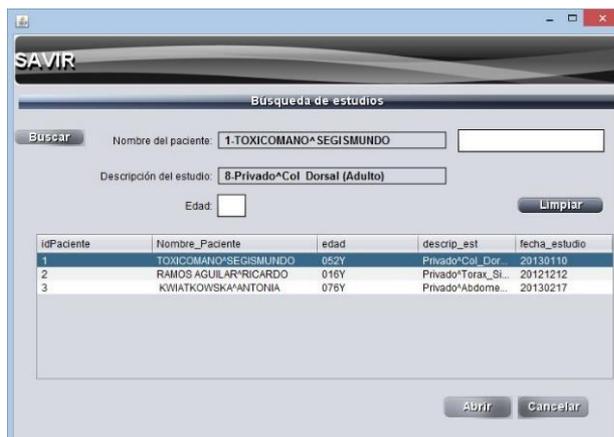


Fig. 6 Búsqueda de estudios

El usuario tendrá la opción de poder elegir en esta ventana alguna otra serie de imágenes disponible en el estudio.

Después de que el sistema se analizó en el Hospital Regional de Apizaco, se realizaron una serie de pruebas para lo que se diseñaron los siguientes cuestionarios, estos se enfocaron a medir: 1.- Satisfacción, 2.- Pruebas de contenido, 3.- Pruebas de almacenamiento,

4.- Pruebas de consulta, 5.-Pruebas de visualización y 6.-Pruebas de seguridad. Las encuestas fueron aplicadas al encargado de sistemas del hospital y al encargado del administrador del sistema el Jefe de Enseñanza. Las respuestas de las encuestas arrojaron una promedio del 93.68% (ver figura 8) por parte del Administrador del sistema y el encargado de Sistemas del Hospital.

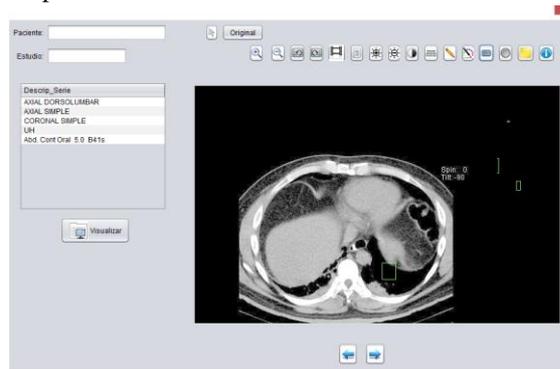


Fig. 7 Visualizador de estudios.

Estas pruebas muestran el desempeño del sistema, usando estudios de dos pacientes con sus respectivas series de imágenes, las imágenes e información hospitalaria fueron obtenidas al trabajar con aproximadamente 250 ficheros pertenecientes a los estudios ya mencionados, mostrando eficiencia en todas la pruebas, sin embargo el almacenamiento mostró deficiencia ya que no le fue posible almacenar una de cinco series de imágenes de un estudio, obteniendo una pérdida de información de aproximadamente 15 imágenes, relacionando este detalle a la librería usada.

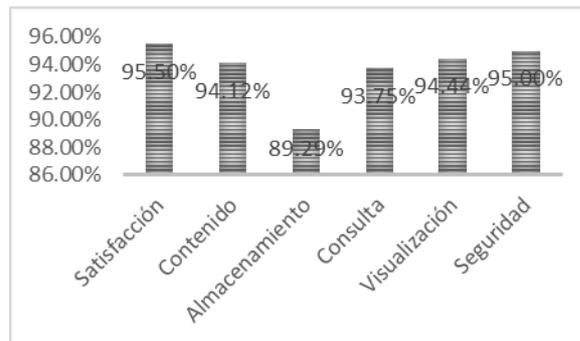


Fig. 8 Resultado general de pruebas.

## 4 Discusión

Actualmente, la tomografía computarizada es un método muy común de diagnóstico y esto es porque permite visualizar distintas partes del cuerpo, que otros estudios no muestran con tanto detalle.

El hecho de que el hospital cuente con un sistema para poder administrar los estudios provenientes del tomógrafo del hospital, optimizará el acceso a las tomografías y a la información que éstas contienen. En la actualidad existen sistemas similares a SAVIR nombrados PACS, sin embargo el costo de instalar un sistema PACS en un hospital va más allá de la compra del equipo que se requiere. La diferencia entre los costos que cubre un hospital que cuenta con la tecnología PACS y uno con placas radiográficas, es que éstas últimas tienen un alto costo en el mercado.

Un PACS necesita de un HIS y un RIS para poder trabajar, esto regido bajo el estándar DICOM, por lo tanto debe contar con equipo médico con este estándar. El Hospital Regional de Apizaco cuenta con un solo equipo basado en este estándar (Tomógrafo computarizado), sin embargo, para darle solución a su necesidad de acceso rápido a información específica que contienen las tomografías, se propuso SAVIR.

El sistema que se desarrolló a diferencia de los otros sistemas PACS, trabaja muy independiente del servidor del tomógrafo por cuestiones de seguridad. Al no contar con un RIS dentro del Hospital, se creó una base de datos para poder exportar los datos del paciente. Las imágenes se exportan dentro del servidor de SAVIR en formato JPEG, con la finalidad de poder manipular las imágenes fácilmente y que el espacio que ocupen sea menor al ocupado por los ficheros DICOM, ya que un estudio promedio pesa entre 80 y 250 megabytes y al decodificar esa información sólo se ocupan entre 6 y 10 megabytes, lo que agiliza su transmisión y visualización. Al exportar todos los datos e imágenes nos proporciona rapidez, porque al acceder a los estudios cada vez que se requiera, no tendremos que estar decodificándolos del fichero DICOM, ya que estarán almacenados dentro de nuestro servidor, listos para ser utilizados.

Las pruebas realizadas al sistema se hicieron con base a diferentes tipos de cuestionarios como se mostró en los resultados. Se numeró a cada tipo respuesta de los cuestionarios, las cuales fueron cuatro y que al final se sumaron y se sacó un promedio ponderado para poder obtener esos porcentajes en una escala del 100%.

Como se aprecia en la figura 8, se obtuvieron resultados de más de un 90% en general, esto nos indica que se desarrolló un buen sistema, sin embargo se obtuvo un resultado del 89% en la prueba de almacenamiento y esto fue a causa de la librería, ya que no fue capaz de reconocer un estudio el cual se intentó importar y el cual no tiene diferencia alguna de los otros con los cuales se realizaron pruebas.

## **5 Conclusión**

El estándar DICOM nos ofrece distintas maneras para la comunicación, almacenamiento y manejo de imágenes médicas. En el sistema SAVIR el estándar da una gran ventaja, ya que toda la información va almacenada en un solo fichero, lo que permite la movilidad de distintas series de imágenes radiológicas, su almacenamiento y visualización de estas en distintas áreas de un hospital. Sin embargo el estándar es bastante amplio y el procesamiento de estos archivos tiende a ser un poco complicado dependiendo del alcance que se desee, es decir; si se trabaja con transmisión, recepción, almacenamiento, seguridad, hace que el desarrollo de un sistema de este tipo sea más complejo. En el caso del sistema desarrollado sólo nos enfrentamos al entendimiento de la estructura y la decodificación del archivo, por lo tanto al haber obtenido información del paciente e imágenes del estudio, se trabajó directamente con una base de datos e imágenes sin necesidad de usar archivos DICOM.

La visualización de las imágenes decodificadas tienen una gran calidad, siendo de utilidad en el área de diagnóstico y/o enseñanza dentro de un hospital, y esto es porque las imágenes no muestran pérdidas, y el hecho de que el formato de salida sea JPEG nos da como opción el almacenamiento de muchos estudios.

Implementar SAVIR dentro de un hospital ofrecerá las siguientes ventajas y también presentará algunos requerimientos para su operación.

### Ventajas:

- Accesibilidad: Los estudios estarán disponibles cuando el médico lo requiera.
- Seguridad: La información será controlada por medios electrónicos (claves).
- Facilidad de almacenamiento.
- Economía: Se elimina la necesidad de procesamiento de placas impresas y los costos asociados (material y personal).
- Bases de datos: La calidad y la atención al paciente se incrementa significativamente al permitir búsquedas y visualización de sus estudios.
- Se puede hacer un seguimiento de los estudios de cada paciente, con la baja posibilidad de pérdida de los estudios, ya que se encontrarán almacenados en el servidor de SAVIR.
- Visualización múltiple: Un estudio puede ser visto en diferentes lugares del hospital en forma simultánea.
- Ahorro de espacio físico: El espacio físico ocupado por tomografías es disminuido, debido a la utilización de un servidor.
- Procesamiento de imágenes: Las imágenes de un estudio pueden ser mejoradas realizando algún tipo de procedimiento, lo cual apoyará el diagnóstico.

#### Requerimientos:

- Capacitación del personal: Para el manejo del sistema, es indispensable contar desde un inicio con capacitación del personal.
- Mantenimiento del sistema: Debido a las actualizaciones de DICOM, se necesitará dar mantenimiento a SAVIR.

Conforme a los resultados mostrados se concluye que el sistema desarrollado con el objetivo de almacenar y visualizar imágenes radiológicas basadas en el estándar DICOM, en este caso tomografías provenientes de un tomógrafo que maneja este estándar, el cual será usado en la jefatura de enseñanza del Hospital Regional de Apizaco “Lic. Emilio Sánchez Piedras” puede ser benéfico para el hospital, principalmente para el área de enseñanza, ya que los médicos internos y becarios que conforman el hospital se ocupan de analizar estudios que son de su interés en esta área.

#### Agradecimientos

Se agradece al Dr. Jorge Castro Pérez Director de la Jefatura de Enseñanza y al Departamento de Radiología del Hospital Regional de Apizaco SESA, por el apoyo, asesoría y estudios radiológicos que proporcionaron para realizar este proyecto en el marco del convenio de colaboración celebrado entre la Secretaria de Salud del estado de Tlaxcala y el Instituto Tecnológico de Apizaco.

#### Referencias

1. H. K. Huang, *Pacs and Imaging Informatics Basic Principles and Applications*, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, (2010)
2. Ronda, O. Ferrer, N. A. Alvarez, *Imagis: Sistema para la transmisión de imágenes médicas multimodales*, Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica (Havana), Mayo (2001)
3. P. Suapang, S. Yimmun and A. Puditkanawat, *Web-based Medical Image Archiving and Communication System for Teleimaging*, 11 th International Conference on Control, Automation and Systems (Korea), Oct (2011)
4. M. Gerritsen, N. Putten, W. Dijk, W.Dassen, H. Spruijt, E. Spruijt, G. Uijen, R. Hainers, *General DICOM Pacs Server for Echocardiography Images*, Interuniversity Cardiology Institute of the Netherlands (Utrecht).
5. Vázquez A, Bohn S, Gessat M, Burgert O, *Evaluation of Open Source DICOM Frameworks*, BMBF-Innovation Center of Computer Assisted Surgery ICCAS, University of Leipzig.

6. Jason, G. Eric , H. Andrew, R. Alejandro dcm4che Architecture and Implementation, University of Illinois.
7. Piyamas S., Kobchai D. and Surapun Y., Medical Image Processing and Analysis for Nuclear Medicine Diagnosis, International Conference on Control, Automation and Systems (Korea), Oct (2010)
8. R. Kanda, J. Nantachai, J. Nuntapon, A. Supree, CT Image Management and Communication Services, Service Research and Innovation Institute Global Conference, (2012)
9. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Part 6: Data Dictionary, National Electrical Manufacturers Association (Virginia), (2011)



# Tecnología Big Data para el Sector Salud del Estado de Guerrero

Elías Marino Escobar Ayona

Universidad Autónoma de Guerrero  
Foro Antiemperialista No. 227. Colonia Tribuna Nacional,  
C. P. 39038, Chilpancingo, Guerrero.  
emeayona@gmail.com

**Abstract.** In this paper presents the problem that has the Health Sector in the State of Guerrero in their management, storage and analysis of information generated by medical units that account, so it intends to implement Big Data technology using Hadoop presents this paper, Hbase, MapReduce, Hcatalog and thus reduce costs, with what may be called digital health, have digitized medical records, where could explore different treatments, with the intent to build models applicable to other patients not have any diagnostic.

**Keywords.** Aplicación de tecnología Big Data en el Sector Salud con software libre.

## 1 Introducción

Con el paso del tiempo las fuentes de información que manejan las organizaciones no sólo provienen de sus propias bases de datos, hoy en día, reciben importante información de una gran variedad de mecanismos de interacción internos y externos, como son las redes sociales, los blogs, de audio y de video.

Todas estas nuevas fuentes de datos conforma un repositorio muy grande de información que se conoce como Big Data; es decir crecimiento muy rápido de la información en cuanto a volumen, con variadas estructuras y que, por lo mismo, requiere de nuevos elementos tecnológicos para su análisis.

De acuerdo a [8] Big Data implica centros de datos, que reciban, almacenen y procesen información de actividad en las redes sociales, aplicaciones cloud, analíticas, sensores y dispositivos móviles, datos de actividades profesionales, usuarios, clientes y proveedores.

En [1] capturar valor a partir de grandes volúmenes de datos, las organizaciones tendrán que implementar nuevas tecnologías (para el almacenamiento, cómputo y software de análisis) y técnicas (nuevos tipos de análisis). La gama de retos tecnológicos y las prioridades serán diferentes, dependiendo de la madurez de datos de la institución. Los sistemas heredados, los estándares y formatos incompatibles, con demasiada frecuencia impiden la integración de los datos y los análisis más sofisticados que crean valor a partir de grandes cantidades de datos. Nuevos problemas y cada

vez mayor potencia de cálculo estimularán el desarrollo de nuevas técnicas de análisis. También hay una necesidad de innovación continua en tecnologías y técnicas que ayudarán a los individuos y a las organizaciones a integrar, analizar, visualizar, y consumir el creciente torrente de información.

Como es el caso del sector salud en el Estado de Guerrero en donde, las oficinas administrativas de las unidades médicas, generan un gran cumulo de información.

## **2 Sector Salud del Estado de Guerrero**

La Secretaría de Salud en el Estado de Guerrero es la encargada de coordinar, establecer, conducir y ejecutar el Sistema Estatal de Salud e impulsar íntegramente los programas de salud en la entidad, así como ejercer facultades de autoridad sanitaria en su ámbito de competencia (salud pública).

El Sistema Estatal de Salud está orientado a establecer los medios y acciones que tengan por objeto prevenir la enfermedad, proteger y asegurar la salud de los guerrerenses, de acuerdo con el Sistema de Protección Social en Salud [4].

Cuenta con 7 (siete) Jurisdicciones Sanitarias distribuidas en las diferentes regiones del Estado (Región Tierra Caliente, Zona Norte, Zona Centro, Montaña, Costa Grande, Costa Chica y Acapulco), actualmente cuenta con 1,066 unidades (hospitales generales, hospitales materno-infantil, centro estatal de transfusión sanguínea, laboratorio estatal, centro estatal antirrábico, laboratorio de investigación de enfermedades tropicales, centro de prevención y atención de enfermedades de transmisión sexual, institutos estatales de cancerología y oftalmología, así como de alrededor de mil centros de salud de atención básica).

Debido a la creciente poblacional, a la prisa en las salas de emergencia ocupadas y la saturación en los niveles de hospitalización, muchos pacientes sólo reciben una rápida revisión superficial de su salud, lo que en muchas ocasiones se realiza un diagnóstico equivocado y repercute en que el paciente regrese con algún problema de salud más severo, fenómeno que se puede volver recurrente.

Imagine la consulta convencional con el doctor. La labor que hace es documentar la atención médica tomando nota en un papel, poniéndola en un expediente y guardándola en un archivo, pero no hay mucho que hacer con esa información desde el punto de vista de análisis.

Con ese sistema obsoleto, no se puede analizar a toda la población de pacientes que se está atendiendo y menos hacer búsquedas dentro de esa información para descubrir nuevos conocimientos. Para hacerlo, se tendrían que sacar todos los expedientes que hay archivados en los departamentos de los hospitales y centros de salud y pasarlos uno por uno al sistema electrónico para tratar de extraer algún dato en particular.

Actualmente, se está pasando de expedientes físicos a historias clínicas electrónicas y esa información se puede aprovechar para mejorar la atención clínica a los enfermos.

Las unidades médicas al atender a los pacientes, estos acumulan grandes cantidades de datos en distintos formatos, ya sea en papel o en versión electrónica, que por su dispersión (algunos son estructurados y otros no) resultan imposibles de utilizar y

analizar. Big Data ofrece la posibilidad de organizar información de forma efectiva, por lo que se podrían integrar a los datos estructurados ya existentes hoy en día (expedientes personales de los pacientes).

En la figura 1 se muestra gráficamente la información que se genera en las unidades médicas en los institutos, en los laboratorios de estudios e investigación, así como el espacio de almacenamiento que ocuparía, en términos computacionales.

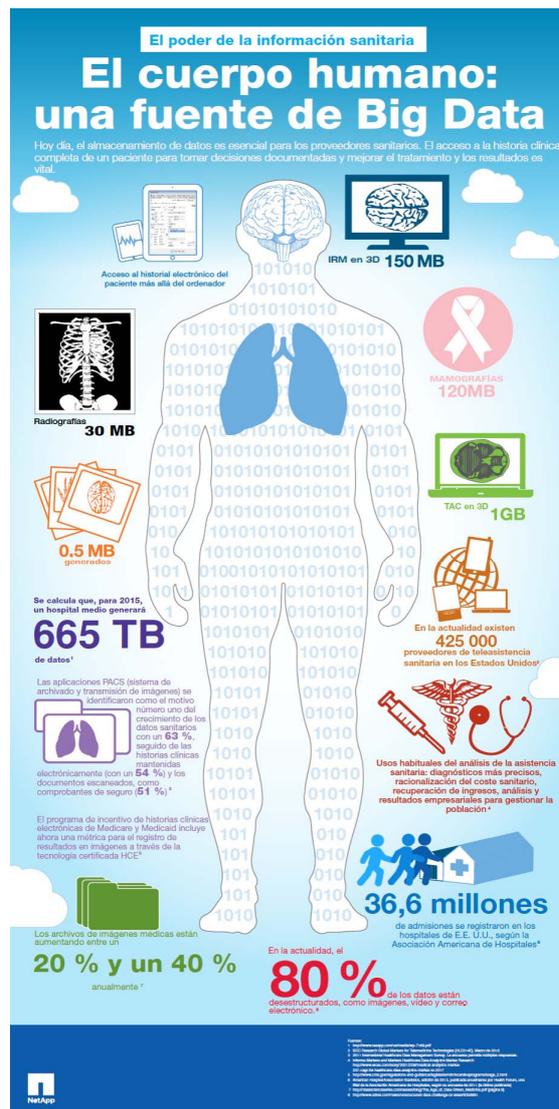


Fig. 1. El cuerpo humano: una fuente de Big Data.

### 3 Big Data

El concepto Big Data se refiere al tratamiento y análisis de enormes repositorios de datos, tan desproporcionadamente grandes que resulta imposible tratarlos con las herramientas de bases de datos y analíticas convencionales. La tendencia se encuadra en un entorno que no suena para nada extraño: la proliferación de páginas web, aplicaciones de imagen y vídeo, redes sociales, dispositivos móviles, apps, sensores, internet, etc., capaces de generar, según IBM, más de 2.5 quintillones de bytes al día, hasta el punto de que el 90% de los datos del mundo han sido creados durante los últimos dos años.

[8] en su investigación estima que en el año 2010 las empresas y consumidores almacenaron un total de 13 exabytes (EB) de datos, imaginemos que sucederá en el 2020 en cuanto almacenamiento de información, la tabla 1 muestra esta escala de datos.

**Table 1.** Escala de datos

| Unidad         | Tamaño      | Significado   |
|----------------|-------------|---|
| Bit (b)        | 1 ó 0       | Código binario que utilizan los ordenaros para almacenar y procesar datos                   |
| Byte (B)       | 8 bits      | Información suficiente para crear un caracter. Unidad básica de la informática              |
| Kilobyte (KB)  | 1,024 bytes | Un página de texto ocupa 2kb  |
| Megabyte (MB)  | 1,024KB     | Las obras completas de Shakespare (5MB). Una canción suele tener alrededor de 4MB.          |
| Gigabyte (GB)  | 1,024MB     | Una película de dos horas puede comprimirse entre 1 y 2GB.                                  |
| Terabyte (TB)  | 1,024GB     | Todos los libros de la biblioteca del congreso estadounidense suma un total de 15TB.        |
| Petabyte (PB)  | 1,024TB     | Todas las cartas entregadas por el servicio postal estadounidense sumarán alrededor de 5PB. |
| Exabyte (EB)   | 1,024PB     | El equivalente a 10,000 millones de copias de The Economist                                 |
| Zettabyte (ZB) | 1,024EB     | Se calcula que al final del año habrá un total de 1.2ZB de información total                |

Big Data hace referencia a un entorno absolutamente relevante para muchos aspectos, desde el análisis de fenómenos naturales como el clima o de datos sismográficos, hasta entornos como salud, seguridad y el ámbito empresarial.

Big data plantea básicamente tres retos sobre el flujo de datos:

Volumen: saber cómo gestionar e integrar grandes volúmenes de datos, procedentes de fuentes heterogéneas.

Velocidad: poder acceder a la plataforma desde cualquier lugar, de forma autónoma por cualquier usuario de negocio, para mejorar y agilizar la toma de decisiones mediante la automatización: programación de acciones, eventos y alarmas.

Variedad: conseguir unificar contenidos dispersos y no estructurados, con datos históricos, actuales y/o predictivos para un manejo óptimo de los mismos y para extraer de ellos información de valor.

### 3.1 Técnicas y tecnologías.

Una amplia variedad de técnicas y tecnologías se ha desarrollado y adaptado para agregar, manipular, analizar y visualizar grandes volúmenes de datos [6]. Estas técnicas y tecnologías sacan información de varios campos, incluyendo estadísticas, informática, matemáticas aplicadas y economía. Esto significa que una organización que tiene la intención de obtener valor de big data tiene que adoptar un enfoque flexible y multidisciplinar. Algunas de las técnicas y tecnologías se han desarrollado en un mundo con acceso a volúmenes mucho más pequeños y para una gran variedad de datos, pero se han adaptado con éxito para que sean aplicables a conjuntos muy grandes de datos diversos.

Estas técnicas que se han desarrollado y adaptado para visualizar, analizar y manipular grandes volúmenes de datos, para hacer estos datos manejables, son: fusión de datos, Crowdsourcing, análisis de series de tiempo, pruebas A / B, análisis de redes, análisis de clusters, aprendizaje de reglas de asociación, aprendizaje automático y mucho otras.

Para este caso, se opta por utilizar la tecnología, siendo un marco de software de código abierto para aplicaciones intensivas de datos distribuidos, originalmente creado por Doug Cutting para apoyar su trabajo en Nutch, un motor web de código abierto.

Para cumplir con los requisitos de procesamiento multimáquina de Nutch, Cutting implementó un centro de MapReduce y un sistema de archivos distribuido que en conjunto se convirtieron en Hadoop.

A través de MapReduce, Hadoop distribuye los datos en grandes piezas sobre una serie de nodos que se ejecutan en hardware de consumo.

En la actualidad, Hadoop se encuentra entre las tecnologías más populares para el almacenamiento de los datos estructurados, semi estructurados y no estructurados que forman parte de los grandes volúmenes de datos. Estando disponible bajo Apache License 2.0.



Es la capa de almacenamiento de Hadoop. Sistema de fichero distribuido escrito en java, escalable, tolerante a fallos.

Aunque Hadoop pueda funcionar con varios sistemas de ficheros (sistema de ficheros locales de Linux, GlusterFS, S3 de Amazon...)

HDFS se desmarca de ellos por ser totalmente compatible con MapReduce y ofrecer la optimización de “localidad de los datos”, lo cual lo convierte en la solución “natural” de Hadoop.

## HCatalog

### Table Management

SequenceFile, JSON, etc).

Ofrece una capa de abstracción de acceso a los datos.

Permite a los usuarios de Hive, Pig o MapReduce acceder fácilmente a cualquier fichero en HDFS sin preocuparse del formato que puede tener este fichero (sea CSV,



Escrito en Java y el modelado con BigTable de Google. Apache HBase es una base de datos no relacional distribuida en columnas, diseñada para ejecutarse en la parte superior de Hadoop Distributed Filesystem (HDFS), proporciona tolerancia a fallas de almacenamiento y un rápido acceso a grandes cantidades de datos dispersos. HBase es uno de los muchos almacenes de datos de NoSQL que se han vuelto disponibles en los últimos años.

#### **4 Implementación de Big Data en la organización**

Para la implementación de Big Data en la organización se tiene que tener claro el objetivo, que en este caso es el de concentrar información de los pacientes, que generen los hospitales, institutos, laboratorios, unidades médicas de especialidad, videoconferencias que hace el área de telemedicina y consultas médicas por videoconferencia, todo esto para consultas posteriores, para revisión y análisis de personal médico, de investigación y para análisis estadístico.

Cuando se recolectan historiales individuales, estos datos se pueden utilizar para crear bases de datos inmensas, información que puede ayudar a la continuidad del cuidado del paciente; a que los tratamientos comparados con los resultados se realicen de manera eficiente y sean menos costosos, por tal motivo lo principal es pensar en el almacenamiento de información y el tipo de análisis a aplicar.

Se requiere construir un equipo de trabajo con experiencia técnica y organizativa para el proyecto. Lo ideal sería que el grupo de trabajo esté integrado por profesionales de TI que entienden la tecnología.

Utilizando Hadoop que es un sistema que se puede implementar sobre hardware a un costo relativamente bajo, siendo a su vez totalmente gratuito para software. Siendo que aquella información que antes las empresas no podían procesar por la metodología existente, hoy puedan hacerlo con Hadoop, pudiendo de este modo sacar información nueva y a su vez descubrir y aplicar otro tipo de análisis como por ejemplo, una regresión lineal, sobre millones de registros.

Para la captación de datos, almacenamiento y análisis, como primera etapa, se incluirán a los hospitales, los institutos, los laboratorios, los centros de nueva vida, entre otras unidades médicas, para que toda la información la concentren vía internet al servidor central, establecido en oficinas centrales de la Secretaría de Salud, tal como se muestra en la figura 2.

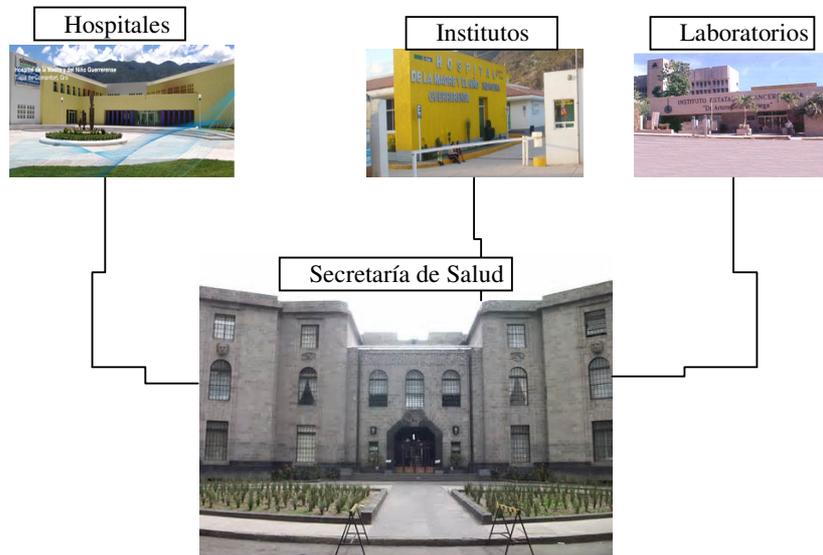


Fig. 2. Ejemplo de conexión de unidades médicas con el servidor central.

## 5 Conclusiones

Implementar Big Data en el Sector Salud del Estado de Guerrero, permitirá tener una mejora en los tratamientos y a los pacientes, apoyo en las decisiones médicas cada que se requiera el análisis de mayor número de variables de análisis comparativo de múltiples opciones de tratamiento y de esta manera proponer la mejor, se pueden monitorear pacientes a través de dispositivos remotos, recolectar datos individuales

Al utilizar esta tecnología se estará apoyando al sector sanitario estatal en la automatización de los sistemas de monitorización de pacientes, sistemas de soporte a las decisiones médicas, análisis comparativo de tratamientos y que los médicos puedan aplicar la medicina más personalidad de acuerdo a cada paciente.

Posteriormente se podrán incorporar más unidades médicas que continúen alimentando la base de datos con información de pacientes, enfermedades, sobre todo las denominadas del nuevo siglo, tratamiento. Dicha información podría ser compartida con investigadores externos a esta Secretaría o con farmacéuticas a través de algún convenio que se logrará firmar y a su vez estas organizaciones puedan retroalimentar a la dependencia con nuevos fármacos.

## **Referencias**

1. Cognizant 20-20 insights. Big Data is the Future of Healthcare. With big data poised to change the healthcare ecosystem, organizations need to devote time and resources to understanding this phenomenon and realizing the envisioned benefits. (2012).
2. Gestal R., Vidal J., Carracedo J. C., Guillaumet J. Big Data. El inicio de una nueva era.
3. Institute for Health Technology Transformation (2013). Transforming Health Care through Big Data. Strategies for leveraging big data in the health care industry. (2013).
4. LOAPEG433, Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de Guerrero número 433. Artículo 27. Publicada en el Periódico Oficial No. 84 Alcance I, el día 21 de octubre de 2011.
5. Marz N. & Warren J. Big Data. Principles and best practices of scalable realtime data systems. (2012).
6. McKinsey Global Institute. Big Data: The next frontier for innovation, competition and productivity. (2011)
7. O'Reilly Media, Inc. Big Data Now. Current Perspectives from O'Reilly Media. (2012). 83-123.
8. TICbeat patrocinado por Informática & Actucast. Big Data. Como la avalancha de datos se ha convertido en un importante beneficio. (2012).
9. Vignesh Prajapati. Big Data Analytics with R and Hadoop. Set up an integrated infrastructure of R and Hadoop to turn your data analytics into Big Data analytics. (2013).

## Reviewing Committee

Juan Manuel Ahuactzin Larios  
Felipe De Jesus Alaniz Quezada  
Laura Alonso I Alemany  
Leticia Arco  
Rafael Bello  
Edmundo Bonilla Huerta  
Iliana Castro Liera  
Marco Antonio Castro Liera  
Guillermo De Ita Luna  
Dominique Decouchant  
Matilde Garcia  
Edel Bartolo García Reyes  
Raudel Hernandez  
Crispin Hernández Hernández

Eric León Olivares  
Alfredo Piero Mateos Papis  
Guadalupe Medina Barrera  
Heydi Méndez Vázquez  
Airel Perez  
Perfecto Malaquias Quintero Flores  
Sebastián A. Ríos Pérez  
Monica Rubio  
José Ruiz Shulcloper  
Grigori Sidorov  
Humberto Sossa Azuela  
Genoveva Vargas Solar  
José Luis Zechinelli Martini





Impreso en los Talleres Gráficos  
de la Dirección de Publicaciones  
del Instituto Politécnico Nacional  
Tresguerras 27, Centro Histórico, México, D.F.  
octubre de 2014  
Printing 500 / Edición 500 ejemplares