

HACIA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

ACTAS DEL I CONGRESO
INTERNACIONAL DE INGENIERÍA
DE SISTEMAS

Hacia la transformación digital
Actas del I Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas

HACIA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

ACTAS DEL I CONGRESO
INTERNACIONAL DE INGENIERÍA
DE SISTEMAS



UNIVERSIDAD
DE LIMA

FONDO EDITORIAL

Hacia la transformación digital. Actas del I Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas / presentación, Nadia Rodríguez Rodríguez. Primera edición. Lima: Universidad de Lima, Fondo Editorial, 2019.

242 páginas: ilustraciones, gráficos, diagramas.

Texto en inglés y español.

Conferencias magistrales y ponencias del I Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas (CIIS), denominado "Hacia la transformación digital", el cual tuvo lugar en la ciudad de Lima los días 13 y 14 de septiembre del 2018.

Incluye referencias.

1. Ingeniería de software -- Congresos. 2. Tecnologías de la información y de la comunicación -- Congresos. 3. Sistemas de información -- Congresos. 4. Ciencias de la computación -- Congresos. I. Rodríguez-Rodríguez, Nadia-Katherine, presentación. II. Universidad de Lima. Fondo Editorial. III. Actas del I Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas (1.º : 2018: Lima, Perú).

005.1

H

ISBN 978-9972-45-499-8

Hacia la transformación digital. Actas del I Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas

Primera edición: junio, 2019

Tiraje: 150 ejemplares

© De esta edición:

Universidad de Lima

Fondo Editorial

Av. Javier Prado Este 4600,

Urb. Fundo Monterrico Chico, Lima 33

Apartado postal 852, Lima 100, Perú

Teléfono: 437-6767, anexo 30131

fondoeditorial@ulima.edu.pe

www.ulima.edu.pe

Diseño, edición y carátula: Fondo Editorial de la Universidad de Lima

Imagen de portada: Vasin Lee/Shutterstock.com

Impreso en el Perú

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro, por cualquier medio,

sin permiso expreso del Fondo Editorial.

ISBN 978-9972-45-499-8

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2019-07539

PROGRAM COMMITTEE / COMITÉ ACADÉMICO

- Juan Gutiérrez
- Andrea Matuk
- Nadia Rodríguez
- Carlos Torres

ORGANIZING COMMITTEE / COMITÉ ORGANIZADOR

- Emma Barreno
- Lucinda Butrón
- Rocío Checa
- Daniel Cárdenas
- Juan Gutiérrez
- Rosa Millones
- Nadia Rodríguez
- Carlos Torres

Índice

PRESENTACIÓN	11
CONFERENCIAS MAGISTRALES	15
<i>Arabidopsis thaliana</i> computationally-generated next-state gene interaction models	17
David J. John Bree, Ann LaPointe, James L. Norris, Alexandria F. Harkey, Joëlle K. Muhlemann, Gloria K. Muday	
Data visualization: foundations, techniques, and applications	27
Hans-Christian Hege	
Monitoring mental health of college students using smartphones	35
Laura E. Barnes	
Smart cities: potential and challenges	41
Andrea Zanella	
PONENCIAS	63
Implementación de un servicio de monitoreo y control de jardines en un municipio de Lima mediante el uso de Internet de las Cosas	65
Jorge Guerra Guerra, Yessenia Lunarejo Gonzales, Armando Fermín Pérez	
Adaptación y comparación de dos metodologías de reconocimiento facial aplicadas a la detección de somnolencia en conductores	75
Johanna Gorvenia, Fernando Tello	
Load balancing method for KDN-based data center using neural network	87
Alex M. R. Ruelas, Christian E. Rothenberg	

Trazabilidad con Blockchain Manuela Linares Barbero	99
SAPPO. Sistema de autoevaluación en la nube del estándar ISO/IEC 29110 para pequeñas empresas de desarrollo de software Mauricio Marroquín Rosales	107
Sistema de generación de horarios para el <i>student self-scheduling</i> Leo Wong	117
A Life cycle for creating an uncomplicated software Michael Dorin, Sergio Montenegro	129
Modelos ocultos de Markov para el desarrollo de un sistema de ayuda al habla para personas que sufren de disartria Clara Mercedes Guevara Vélez	141
Modelo predictivo para determinar la graduación de alumnos de carreras de ingenierías aplicando técnicas de minería de datos Claudio José Carrizo	155
A collaborative approach for solving the university course timetabling problem Carlos Bazilio, Dalessandro Soares Vianna, Thiago Jeffery Barisao de Lima, Edwin Benito Mitacc Meza	169
Sistema de digitalización y estructuración de información clínica con técnicas de reconocimiento óptico de caracteres y procesamiento del lenguaje natural Hugo Eduardo Castro Aranzábal, Walter Giancarlo Pinedo Barrientos	181
Gestión de proyectos de sistemas de información. Conectando el <i>agile mindset</i> , la motivación y el liderazgo para la generación de equipos de alto desempeño Marco Antonio Fernández del Pomar	191
Algoritmo genético con tecnología Blockchain para reducir la entropía de una cadena de suministro Juan José Miranda del Solar, Max Guillermo Schwarz Díaz	211
The digital transformation triangle. A framework to set the foundations for a successful digital journey Jon Bazán Martínez, Lissette Tucto Mechán	225
PERFILES	233

Presentación

Este volumen reúne el conjunto de conferencias magistrales y ponencias presentadas durante el I Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas (CIIS), denominado “Hacia la transformación digital”, el cual tuvo lugar en la ciudad de Lima los días 13 y 14 de septiembre del 2018.

El mencionado evento tuvo como finalidad impulsar y dinamizar la investigación entre nuestros docentes y estudiantes, buscando que ese dinamismo se impregne en la formación que se brinda en las aulas universitarias y en la comunidad académica en general. Se invitó a conferencistas internacionales reconocidos y desde un inicio se tuvo la firme voluntad de incluir a estudiantes y docentes de universidades de todo el país.

Destacados académicos internacionales ofrecieron cuatro conferencias magistrales. El doctor David John compartió la investigación multidisciplinaria que realiza con investigadores de la universidad Wake Forest de Estados Unidos, la cual está enfocada en descubrir modelos de interacción genética como consecuencia de la implantación de hormonas en la planta *Arabidopsis thaliana*. La importancia de esta investigación radica en la construcción de modelos que permitirían conocer más a fondo las interacciones bioquímicas dadas en el campo genético y que ayudados por la computación logran resultados más rápidos y más consistentes. Es de resaltar el trabajo multidisciplinario que se lleva a cabo en esta investigación entre biólogos, bioquímicos, informáticos, matemáticos y estadísticos.

El doctor Hans Christian Hege aborda, de manera muy didáctica y clara, los fundamentos, las técnicas y las aplicaciones del mundo de la visión computacional. Ha quedado evidente también que la Visualización Científica (SciVis), la Información de la Visualización (InfoVis) y la Analítica Visual (VA) van juntas, no hay razón para tratar de separarlas. Asimismo, que el corazón de la visualización son los datos que representan algún aspecto de la realidad y que es necesario que sean transmitidos a los humanos. El ámbito de aplicación de la visualización de

datos es amplio, y puede aplicarse en la economía, la medicina, e incluso en la vida cotidiana. La tarea principal de la visualización de datos es mostrar la información que está “oculta” en datos potencialmente grandes que den lugar a una percepción efectiva y cognición favorable. En conclusión, el objetivo de la visualización de los datos es ayudar a la realización de tareas en general de manera más efectiva.

La doctora Laura Barnes muestra cómo se pueden aprovechar los diferentes sensores que poseen los dispositivos móviles para monitorear y comprender la salud mental de las personas *in the wild*, es decir fuera del laboratorio. Estas tecnologías proporcionan un medio económico para recopilar de forma continua y discreta datos sobre el comportamiento humano, como, por ejemplo, dónde pasan sus días, sus interacciones sociales, su actividad física, etcétera. Esta información se puede utilizar para ayudar a los pacientes a comprender mejor los vínculos entre sus comportamientos y sus enfermedades y para ayudar a los médicos a desarrollar tratamientos e intervenciones de manera óptima.

Finalmente, el doctor Andrea Zanella define qué es una ciudad inteligente y qué problemas deben abordarse y resolverse para convertir una ciudad no inteligente en una ciudad inteligente; sostiene que para tener ciudades inteligentes primero hay que contar con ciudadanos inteligentes. Los desafíos de las ciudades de hoy son innumerables y están relacionados con el tráfico, los estacionamientos, el manejo de residuos sólidos, la calidad del agua, la seguridad ciudadana, etcétera. A su vez, estos desafíos presentan grandes oportunidades para resolverlos a través de la investigación y el uso de nuevas tecnologías, como internet de las cosas, computación en la nube, Big Data, Machine Learning, entre otras.

Los artículos presentados tanto por investigadores nacionales como internacionales fueron sometidos a un proceso de revisión por pares, que garantiza la calidad de los trabajos expuestos en nuestro congreso. Cabe destacar la participación de graduados y de alumnos de pregrado, tanto de nuestra casa superior de estudios como de otras universidades, quienes se están iniciando en el campo de la investigación. Los temas tratados se circunscriben a lo establecido por organismos internacionales, como ACM/IEEE, y corresponden a las áreas de investigación definidas dentro del marco del CIIS: sistemas de información, ingeniería de *software*, tecnologías de la información y ciencias de la computación; todas las cuales giran en torno a la transformación digital. Las temáticas abordadas en los diversos artículos fueron variadas, dándose un gran número de investigaciones en campos relacionados con visión computacional, Machine Learning y heurísticas; mientras que otro grupo de investigaciones estuvieron orientadas a campos de la ingeniería de *software* y sistemas de información.

El espacio proporcionado cumplió con el objetivo de compartir conocimiento, debatir, escuchar diversas perspectivas, reflexionar y aprender cómo la tecnología de la información puede aplicarse a otros campos para el trabajo multidisciplinario. No hay aspecto por mejorar

en las organizaciones —sean empresas, ciudades, centros educativos, hospitales, instituciones del gobierno, etcétera— en el que lo digital no pueda ayudar a transformarlas y hacerlas más competitivas; tomando en cuenta las palabras del ingeniero Jaime León Ferreyra, vicerrector de la Universidad de Lima, dichas en el discurso de inauguración del congreso, quien afirma que “la academia no puede ser ajena al proceso de transformación digital porque son los estudiantes quienes se harán cargo de esos procesos tan importantes y necesarios”.

Agradecemos a los docentes, alumnos y personal administrativo de la Carrera de Ingeniería de Sistemas por brindarnos su valiosa colaboración para la realización de este evento.

Nadia Rodríguez Rodríguez
Directora
Carrera de Ingeniería de Sistemas
Universidad de Lima

CONFERENCIAS MAGISTRALES

Arabidopsis thaliana computationally-generated next-state gene interaction models*

David J. John Bree
Ann LaPointe
djj@wfu.edu / Wake Forest University, NC, USA

James L. Norris
norris@wfu.edu / Wake Forest University, NC, USA

Alexandria F. Harkey
Joëlle K. Muhlemann
Gloria K. Muday
muday@wfu.edu / Wake Forest University, NC, USA

Receipt: 6-8-2018 / Acceptance: 3-9-2018

ABSTRACT. The construction of gene interaction models must be a fully collaborative and intentional effort. All aspects of the research, such as growing the plants, extracting the measurements, refining the measured data, developing the statistical framework, and forming and applying the algorithmic techniques, must lend themselves to repeatable and sound practices. This paper holistically focuses on the process of producing gene interaction models based on transcript abundance data from *Arabidopsis thaliana* after stimulation by a plant hormone.

KEYWORDS: OpenFlow, data center, artificial neural network, Knowledge-Defined Networking

Modelo generado computacionalmente de interacción genética del próximo estado basado en *Arabidopsis thaliana*

RESUMEN. La elaboración de modelos de interacción genética debe ser un esfuerzo totalmente intencional y colaborativo. Todos los aspectos de la investigación, tales como el cultivo de las plantas, la obtención de las mediciones, el refinamiento de los datos recopilados, el desarrollo del marco estadístico, y la formulación y aplicación de técnicas algorítmicas, deben colaborar entre sí para establecer prácticas reproducibles y eficaces. Este artículo se centra, de manera holística, en el proceso de creación de modelos de interacción genética basados en los datos de la abundancia de transcritos obtenidos de la estimulación de la planta *Arabidopsis thaliana* mediante hormonas vegetales.

PALABRAS CLAVE: OpenFlow, Flow, centro de procesamiento de datos, red neuronal artificial, Defined Networking

* Bree LaPointe thanks the Wake Forest University Center for Molecular Signaling for her support Aarch Assistant. The authors thank the National Science Foundation for their support with grant NSF#1716279.

1. INTRODUCTION

Our process of creating gene interaction models from *Arabidopsis thaliana* gene transcript abundance data involves multiple specialized steps supervised by biologists, biochemists, computer scientists, mathematicians, and statisticians. This has been a long-term interdisciplinary collaborative commitment, which ultimately has yielded and continues to yield models that provide testable hypotheses of gene pathways. The research into the construction of gene interaction models is an active area. Various groups of researchers have taken a number of different modeling approaches for time-course measurements. The modeling approach and setting presented herein is based on the stimulation of *Arabidopsis thaliana* with either the plant hormone auxin or ethylene at time 0, the collection of three replicates of gene transcript abundance measurements taken at 8 time points, and the creation of interaction models by rigorously-developed computational techniques guided by relative posterior probabilities of directed acyclic graphs.

The creation of gene interaction models is an active area of research. Algebraic techniques (Allen, Fetrow, Daniel, Thomas, & John, 2006; Laubenbacher & Stigler, 2004; Liang & Han, 2012; Stigler, 2007), differential equations (Cao, Qi, & Zhao, 2012), and partial correlations (de la Fuente, Bing, Hoeschele, & Mendes, 2004; Krämer, Schäfer, & Boulesteix, 2009; Li & Gai, 2008; Wille et al., 2004) are some of the approaches applied to this important problem. The techniques discussed herein are all based on our mathematically rigorous Bayesian probabilistic techniques (Patton, John, & Norris, 2012; Patton, John, Norris, Lewis, & Muday, 2013, 2014; Norris, Patton, Huang, John, & Muday, 2015; John, Fetrow, & Norris, 2011).

The biological thrust of this research is to understand lateral root development. *Arabidopsis thaliana*, the lab rat for plants, is specifically studied in this research. Among the reasons for using this plant are the ease in which it can be grown and propagated for similarity, as well as the extensive literature and databases on the plant, its genes and proteins.

The one of this research is to create hierarchical gene interaction models. Essentially, this means that there is an overall truth about the interaction of the genes, and any model should capture some elements of that truth. Also, various time paradigms can be applied to time-course data. The next-state paradigm is used exclusively in this paper. It proposes that, if there is a directed edge from gene A to gene B in the true biochemical network, the measurement of A's expression at time t has an influence on B's value at time $t + 1$.

2. FROM PLANT TO REFINED DATA

The first stage for producing a gene interaction model involves growing the *Arabidopsis thaliana* plants in a controlled environment. The experiments that generate the gene transcript

abundance data require thousands of plants. These plants should be as genetically similar as possible. To accomplish this, an initial stand of plants is grown in the laboratory. After the plants mature, all visually dissimilar plants are removed from the population. Then, the plants cross pollinate to create the next generation. This process is repeated until obtaining the third plant generation.

Using this third generation of plants, the *Arabidopsis thaliana* is stimulated by a plant hormone at time 0, and then gene transcript abundance measurements are collected at times 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12 and 24 hours. At each of the 8 time points, some of the plants are harvested and analyzed. The Affymetrix technology is used to assess the gene transcript abundance measurements for the studied genes.

Each experiment is repeated three times, leading to three sets of data for each experiment. The three replicates should be similar, but certainly not identical.

The transcript abundance data consists of either 1, 246 or 449 transcripts depending on the specific experiment. The first step in data refinement will remove genes that have incomplete Affymetrix measurements. Next, data with too large p-value measurements is removed: these correspond to measurements that the Affymetrix technology reports as unreliable.

From the remaining genes, the biologists and biochemists select subsets of genes, many of which have the same functional relationship. For the present paper, this ultimately results in three sets of gene transcript abundance data known as the IAA12, ACC26 and IAA37 data sets.

Next, these transcript abundance data sets are further culled based on their numerical properties (Lewis *et al.*, 2013). Then, these reduced genes are clustered into classes that reflect classes of similar gene stimulation or repression across the 8 time points. Finally, representatives of the equivalence classes are chosen for the final data sets IAA12, ACC26 and IAA37. There are twelve (12) and thirty seven (37) genes represented in the IAA12 and IAA37 sets, respectively. All of these genes have been stimulated with the plant hormone auxin (IAA). In ACC26, there are twenty six (26) genes, all of which have been stimulated by the plant hormone ethylene (ACC) (Harkey *et al.*, 2018). Each of these data sets has three replicates that were incorporated in a hierarchical manner as detailed in Patton *et al.* (2014).

3. FROM DATA SETS TO GENE INTERACTION MODELS

Each data set consists of three replicates, r_1 , r_2 , r_3 , for n gene's transcript abundance measurements. The goal is to produce a directed graph, or network, with vertices representing the genes, where each edge, $g_i * g_j$, is labeled with the probability of a next-state relationship between gene g_i and gene g_j . There are a number of steps required to achieve this goal. A mathematical model is needed to represent a set of possible next-state relationships between the n genes.

This mathematical model represents one possible set of next-state relationships between pairs of genes. Subsequently, a statistical development is required to provide an optimum way to compare two of the mathematical models, i.e., which of the two models is more likely given the three sets of observations. Lastly, an algorithmic mechanism for searching through the mathematical models is desired: one that is guided by the relative posterior probabilities.

A directed acyclic graph (DAG) provides the structure to model a possible next-state relationship between the n genes. Reflexive and circular relations are not supported by DAGs. The directed edges of the DAGs are not labeled. The number of DAGs (Moon, 1970) is given by

$$f_{n,k} = \binom{n}{k} \sum_{i=0}^k \left(-\frac{1}{2}\right)^i (k+i)! \binom{k}{i} \binom{n-k}{i} n^{n-k-i-1}$$

where n and k are the numbers of vertices and components. Clearly, any search over DAGs will require substantial sophistication.

The Norris-Patton likelihood (NPL) of a DAG (Patton, 2012; Norris et al., 2015; Patton et al., 2012, 2013, 2014), shown in Equation 1, was specifically developed to compute the likelihood that replicates r_1, r_2, r_3 are described by a DAG D , NPL ($r_1, r_2, r_3 \mid D$). The DAG has j genes with at least one parent, and w genes in the data. ix_n is the time-course data for the parents of child n from replicate i . n is the concatenated average time-course data over all replicates from each parent of child n . iyn is the time-course data for child n in replicate i .

$$\begin{aligned} NLP(data|DAG) &= (2\pi)^{-rtj/2} 2^{j(rt+1)/2} g^{-rk/2} 2^{-j/2} \Gamma(1/2)^{-j} \Gamma[(rt+1)/2]^j \quad (1) \\ &\times \prod_{n=1}^j \frac{|\bar{x}_n^T \bar{x}_n|^{r/2}}{\prod_{i=1}^r |ix_n^T ix_n + \bar{x}_n^T \bar{x}_n|^{1/2}} \\ &\times \left[1 + \sum_{i=1}^r (iy_n^T iy_n - (ix_n^T iy_n)^T [(ix_n^T ix_n + \bar{x}_n^T \bar{x}_n)^{-1}]^T ix_n^T iy_n) \right]^{-(rt+1)/2} \\ &\times (2\pi)^{-rt(w-j)/2} \exp^{-r(t-1)(w-j)/2} \end{aligned}$$

Throughout this paper, we assume uniform priors on the DAGs so that a DAG's likelihood is its relative posterior probability. Cotemporal and next-state versions of the NPL have been developed, in both hierarchical and independent situations. Given two DAGs, D_1 and D_2 , the NPL provides the ability to say the degree to which D_1 is better than D_2 . Replicates r_1, r_2 and r_3 are hierarchically incorporated to obtain their NPL.

Two algorithmic DAG search methodologies have been developed to produce the final next-state gene interaction models. The first one is based on a Metropolis-Hastings (MH) algorithm and the second one is a specialized genetic algorithm (BCHC). For both of these approaches, the chosen algorithm samples the DAG space guided by the NPL. The execution time complexity of the MH algorithm severely restricts the problem size, whereas the BCHC scales work reasonably well with the problem size. For either MH or BCHC, unique DAGs are collected across the entire executions of the algorithm. From all these unique DAGs, the final next-state gene interaction model is created using the classical Bayesian model averaging under equal DAG priors (Hoeting, Madigan, Raftery, & Volinsky, 1999). Specifically, the posterior probability of a directed edge e , $M(e)$ in the model is computed.

$$M(e) = \frac{\sum_{d \in AL} \chi_d(e) L(d_1, d_2, d_3 | d)}{\sum_{d \in AL} L(d_1, d_2, d_3 | d)} \quad (2)$$

where $\chi_d(e) = 1$ if and only if e is a directed edge in the DAG d ; otherwise $\chi_d(e) = 0$. Even though DAGs do not allow cycles, it is certainly possible for cycles, but not loops, to appear in the final next-state gene interaction model.

The Metropolis-Hastings (MH) approach is a search governed by the decision process shown in Algorithm 1. After a suitable initialization, the MH approach guided the exploration of the DAG space for 500,000,000 steps in each of 10 independent and parallel executions (John *et al.*, 2011; Norris *et al.*, 2015). The 200 DAGs with highest likelihood were collected across these steps, and a final gene interaction model was produced using Equation 2.

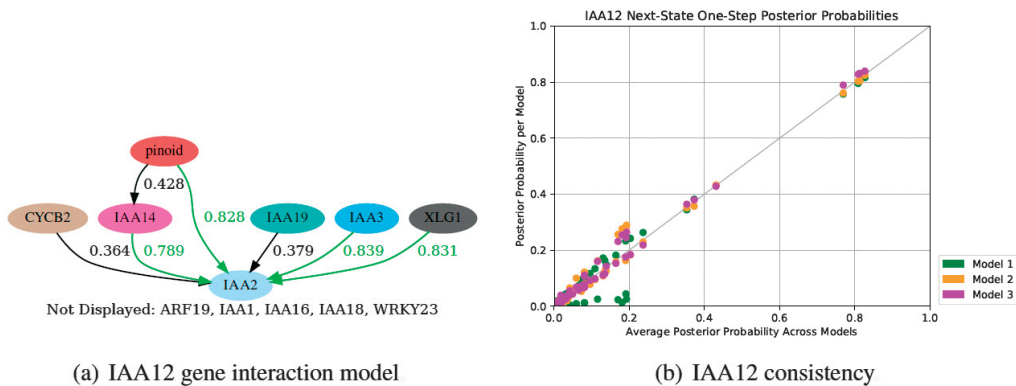
The BCHC modeling algorithm is a specialized genetic algorithm specifically designed to handle a population of DAGs (LaPointe, 2017; LaPointe *et al.*, submitted). Each BCHC population is a set of DAGs. At the i th step, the BCHC uses the current population of 200 DAGs to produce the next population of 200 DAGs. It performs this using the specially adapted genetical algorithm operators of selection, crossover, mutation, and repair. The selection operator pairs the 200 DAGs to be parents, the crossover allows dissimilar parents to exchange (genetic) information, and the mutation operator is applied to the entire population when the population has essentially become stagnant. Unfortunately, the crossover of two DAGs and the mutation of a DAG can result in a directed graph containing a cycle. A repair operator is required to convert a directed graph containing a cycle into a DAG. Every genetic algorithm has many parameters, for example, the population size (200) and the total number of generations (250). For all the executions in the BCHC in this paper, the BCHC parameters were fixed.

Algorithm 1 The decision process of the Metropolis-Hastings algorithm, searching for best models and high probability edges using Norris-Patton likelihood. The function *random()* returns a random value between 0 and 1, uniformly.

-
- 1: Generate *New* DAG from the immediate neighbors of *Current* DAG
 {If *New* is an improvement over *Current* then unconditionally accept *New*, else probabilistically accept *New*}
 - 2: **if** $NPL(data | New) > NPL(data | Current)$ **then**
 - 3: $Current \leftarrow New$
 - 4: **else if** $random() < \frac{NPL(data|New)}{NPL(data|Current)}$ **then**
 - 5: $Current \leftarrow New$
 - 6: **end if**
-

The MH algorithm was implemented in MATLAB, and the BCHC algorithm in Python. For both programs, in order to minimize numerical errors, most computations involved the likelihood logarithm. The implementation of both the MH and BCHC algorithms involved distributed computing.

The 12 IAA12 genes were stimulated by auxin (IAA) and were chosen from the 1, 246 *Arabidopsis thaliana* genes that respond to IAA treatment (Lewis et al., 2013). For IAA12, both MH and BCHC next-state gene interaction models are produced. The BCHC IAA12 next-state gene interaction model is shown in Figure 1(a). Figure 1(b) shows that the BCHC algorithm is very consistent across multiple runs of the IAA12 data. The MH next-state gene interaction model is presented in Norris et al. (2015), Table 1, column H1. In this instance, there was not much agreement between the MH- and BCHC-based models. However, in numerous simulation studies, both the MH and BCHC next-state models do closely agree with the respective simulated networks (LaPointe, 2017; Norris et al., 2015).



Note. A next-state gene interaction model and consistency plot across three interaction models for the IAA12 data set. Only directed edges with posterior probabilities of at least 0.35 are shown. Each directed edge, $g_i \rightarrow g_j$, is labeled with the posterior probability of g_i influencing g_j . The three models in the consistency plot are from three executions of the modeling algorithm on the IAA12 data.

Figure 1. A next-state gene interaction model and consistency plot for the IAA12 data set
 Elaborated by the authors

The MH algorithm has not been applied to any data set with more than 12 genes. The execution time required for MH to complete is prohibitive for moderately more than 12 genes. In fact, this restriction is one of the main motivations for the development of the BCHC algorithm.

The ACC26 data set contains information about 26 genes from the 449 that responded to treatment with the ethylene precursor ACC. For these 26 genes, specific forbidden gene interactions well known from the biological literature were incorporated into the BCHC model algorithm (O'Malley et al., 2016). The BCHC gene interaction model is shown in Figure 2(a), and the indication of the consistency of similar models is shown in Figure 2(b). Comparing Figures 1(b) and 2(b), as the number of genes increased from 12 to 26, the overall consistency, though still good, diminished.

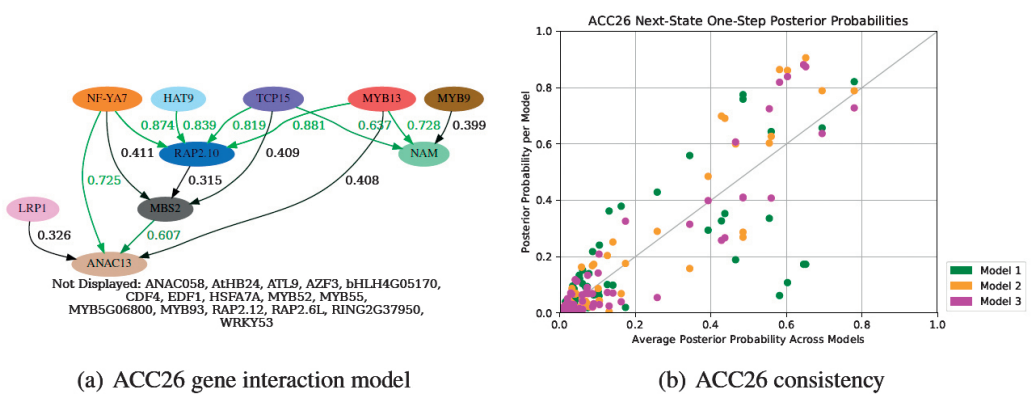


Figure 2. A next-state gene interaction model and consistency plot for the ACC26 data set Elaborated by the authors

The 37 genes in the IAA37 data set were identified as IAA-dependent transcriptional changes dependent on auxin response factor19, ARF19. The chosen transcripts are in one of two functional groups: transcription factors (TF) or cell wall (CW) remodelers. It is known that an ARF19 gene can never be a child, a TF gene can only be the child of another TF gene, and a CW gene cannot be a parent and can only be a child of a TF gene. These give rise to another set of forbidden relationships that have been incorporated into the BCHC algorithm. Figure 3 shows both the IAA37 gene interaction model and the consistency information across three BCHC executions on the IAA37 data.

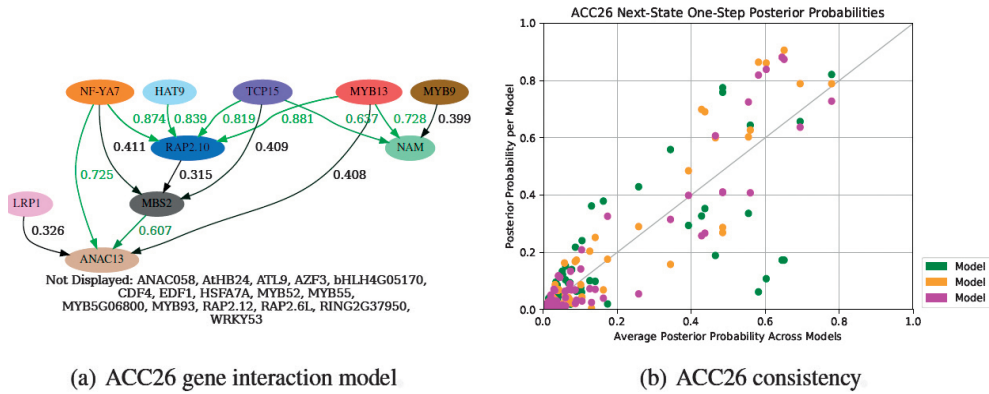


Figure 3. A next-state gene interaction model and consistency plot for IAA37 data set
Elaborated by the authors

4. CONCLUSIONS

The BCHC algorithm, guided by the next-state likelihood, produces consistent gene interaction models. The number of genes increases the execution time of the BCHC algorithm scales reasonably, in fact, linearly. Since the rigorous relative posterior probabilities of each visited DAG is known, the BCHC algorithm is a specialized genetic algorithm which aggressively searches the DAG space for DAGs with high likelihood. The gene interaction model should be a reasonably good estimate of the underlying biochemical relationships. Laboratory testing of the proposed directed edges suggested by these models is the next important step in this interdisciplinary collaborative journey.

Clearly, as the number of genes increases, the BCHC parameters should be adjusted. In particular, two parameters that should be adjusted as a function of the number of genes are the size of each population and the total number of generations. The increased variance of the consistency plots, as a function of the number of genes, is certainly partially caused by the fixed BCHC parameters, so future works should include adapting parameters for different situations.

REFERENCES

Allen, E. E., Fetrow, J. S., Daniel, L. W., Thomas, S. J., & John, D. J. (2006, January). Algebraic dependency models of protein signal transduction networks from time-series data. *Journal of Theoretical Biology*, 238(2), 317-330. DOI: 10.1016/j.jtbi.2005.05.010

Cao, J., Qi, X., & Zhao, H. (2012). Modeling gene regulation networks using ordinary differential equations. In *Next generation microarray bioinformatics*, 802, 185-197. Springer. DOI:10.1007/978-1-61779-400-1_12

- De la Fuente, A., Bing, N., Hoeschele, I., & Mendes, P. (2004). Discovery of meaningful associations in genomic data using partial correlation coefficients. *Bioinformatics*, *20*(18), 3565-3574.
- Harkey, A. F., Watkins, J. M., Olex, A. L., DiNapoli, K. T., Lewis, D. R., Fetrow, J. S., Muday, G. K. (2018). Identification of transcriptional and receptor networks that control root responses to ethylene. *Plant Physiology*, *176*(3), 2095-2118. Retrieved from <http://www.plantphysiol.org/content/176/3/2095>. DOI: 10.1104/pp.17.00907
- Hoeting, J. A., Madigan, D., Raftery, A. E., & Volinsky, C. T. (1999). Bayesian model averaging: a tutorial (with comments by M. Clyde, David Draper and E.I. George, and a rejoinder by the authors). *Statistical Science*, *14*(4), 382-417.
- John, D. J., Fetrow, J. S., & Norris, J. L. (2011, September/October). Continuous cotemporal probabilistic modeling of systems biology networks from sparse data. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, *8*(5), 1208-1222. DOI:10.1109/TCBB.2010.95
- Krämer, N., Schäfer, J., & Boulesteix, A.-L. (2009). Regularized estimation of large-scale gene association networks using graphical Gaussian models. *BMC Bioinformatics*, *10*(384). DOI:10.1186/1471-2105-10-384
- LaPointe, B. A. (2017). *Arabidopsis thaliana* gene interaction exploration with CHC genetic algorithm (Unpublished master's thesis). Wake Forest University, Department of Computer Science.
- LaPointe, B. A., John, D. J., Norris, J. L., Harkey, A. F., Muhlemann, J. K., & Muday, G. K. (submitted). *A specialized genetic algorithm to model cotemporal hierarchical Arabidopsis thaliana gene interactions.*
- Laubenbacher, R., & Stigler, B. (2004, August). A computational algebra approach to the reverse engineering of gene regulatory networks. *Journal of Theoretical Biology*, *229*(4), 523-537. DOI: 10.1016/j.jtbi.2004.04.037
- Lewis, D. R., Olex, A. L., Lundy, S. R., Turkett, W. H., Fetrow, J. S., & Muday, G. K. (2013, September). A kinetic analysis of the Auxin transcriptome reveals cell wall remodeling proteins that modulate lateral root development in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, *25*, 3329-3346. DOI:10.1105/tpc.113.114868
- Li, H., & Gai, J. (2008). Gradient directed regularization for sparse Gaussian, concentration graphs with applications to inference of genetic networks. *Biostatistics*, *7*(2), 302-317.
- Liang, J., & Han, J. (2012). Stochastic Boolean networks: an efficient approach to modeling gene regulatory networks. *BMC Systems Biology*, *6*(113), 1-20. Retrieved from <http://www.biomedcentral.com/1752-0509/6/113>

- Moon, J. W. (1970). Counting labelled trees, Canadian mathematical monographs, n.º 1. In *Canadian Mathematical Congress, Montreal, Quebec*.
- Norris, J. L., Patton, K. L., Huang, S., John, D. J., & Muday, G. K. (2015, April). First and second order Markov posterior probabilities on multiple time-course data sets. In *SoutheastCon 2015* (pp. 1-8). Norfolk, Virginia: IEEE. DOI: 10.1109/SECON.2015.7132880
- O'Malley, R. C., Huang, S. S. C., Song, L., Lewsey, M. G., Bartlett, A., Nery, J. R., ... & Ecker, J. R. (2016). Cistrome and epicistrome features shape the regulatory DNA landscape. *Cell*, 165(5), 1280-1292.
- Patton, K. L. (2012). *Bayesian interaction and association networks from multiple replicates of sparse time-course data* (Doctoral dissertation, Wake Forest University).
- Patton, K. L., John, D. J., & Norris, J. L. (2012, June). Bayesian probabilistic network modeling from multiple independent replicates. *BMC Bioinformatics*, 13(Supplement 9), 1-13.
- Patton, K. L., John, D. J., Norris, J. L., Lewis, D., & Muday, G. (2013). Hierarchical Bayesian system network modeling of multiple related replicates. *BMC Bioinformatics*, 7, 803-812.
- Patton, K. L., John, D. J., Norris, J. L., Lewis, D. R., & Muday, G. K. (2014, March/April). Hierarchical probabilistic interaction modeling for multiple gene expression replicates. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 11(2), 336-346. DOI: 10.1109/TCBB.2014.2299804
- Stigler, B. (2007). Polynomial dynamical systems in system biology. *2006 AMS Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, 64, 59-84.
- Wille, A., Zimmermann, P., Vranová, E., Fürholz, A., Laule, O., Bleuler, S., ... & Zitzler, E. (2004). Sparse graphical Gaussian modeling of the isoprenoid gene network in *Arabidopsis thaliana*. *Genome biology*, 5(11), R92. DOI: 10.1186/gb-2004-5-11-r92

Data visualization: foundations, techniques, and applications

Hans-Christian Hege
hege@zib.de / Zuse Institute Berlin, Berlin, Germany

Receipt: 13-8-2018 / Acceptance: 4-9-2018

ABSTRACT. The idea that there is no precedence for the amount of data that is being generated today, and that the need to explore and analyze this vast volumes of data has become an increasingly difficult task that could benefit from using Data visualization is presented. It is pointed that the goals of data visualization are data-driven and depend largely on the type of application, but the final objective is to convey to people information that is hidden in large volumes of data. Finally, the visualization pipeline is presented to review aspects of visualization methodology and visualization tool design, to conclude that the true potential of visualization emerge from the interaction of the user with the visualization model. The paper concludes establishing that the current processes of digital transformation will increase the need for visual analytics tools.

KEYWORDS: data visualization, visualization evolution, computer graphics basics, visualization pipeline, interactive visualization

Visualización de datos: fundamentos, técnicas y aplicaciones

RESUMEN. La cantidad de datos que se genera hoy no tiene precedentes y la necesidad de explorar y analizar estos vastos volúmenes de información se ha convertido en una tarea cada vez más difícil, ante la cual se presenta el beneficio del uso de su visualización. Se señala que los objetivos de dicha visualización son impulsados por los propios datos y dependen en gran medida del tipo de aplicación, pero el objetivo final es transmitir a las personas la información que está oculta en grandes volúmenes de datos. Finalmente, se presenta el canal de visualización para revisar aspectos de la metodología de visualización y el diseño de la herramienta de visualización, para concluir que el verdadero potencial de la visualización surge de la interacción del usuario con el modelo de visualización. El documento termina estableciendo que los procesos actuales de transformación digital aumentarán la necesidad de herramientas de análisis visual.

PALABRAS CLAVE: visualización de datos, evolución de la visualización, conceptos básicos de gráficos por computador, flujo de visualización, visualización interactiva

1. EVOLUTIONARY BASIS OF VISUALIZATION

Visualization means the development and application of techniques for creating images, diagrams, or animations in order to communicate information.

Humans have a long and intense relationship with pictures: starting from cave paintings to pictorial symbols and writing systems, da Vinci's revolutionary techniques for conveying technical or scientific information, visual and cinematic arts, and computer-generated imagery and social networks that are flooded with pictures.

Why do humans have such a preference for visual information? This is due to two evolutionary reasons: During evolution, the human visual system has developed a tremendous capacity, making pictorial transmission and processing of visual information the most effective way of evaluating sensory data. Therefore, do images fit perfectly to human perception. Furthermore, due to evolutionary conditions, spatial thinking has developed into one of the strongest components of human cognition. Since images encode information (in the first place) spatially, images also fit perfectly to human cognition.

It is the combination of these two factors, namely, the exploitation of the most efficient information channel and the most advanced cognitive functionality, that explains the significance of pictorial representations to human beings.

2. NEED OF DATA VISUALIZATION

For centuries, the amount of quantitative information collected, e.g., by census, surveys, and measuring techniques, increased. And, in the digital century, it exploded. The need to make an ever-increasing amount of data comprehensible to humans led to the development of Data Visualization. The aim of Data Visualization is to make 'hidden' information in the data accessible and understandable to humans by turning it into visual information.

Historically, the roots of data visualization are old: Examples from ancient cultures are known and important milestones happened in the Renaissance, in particular the discovery of the central perspective and the invention of technical drawings. Technical drawings have become an integral part of the technological transformations in the early modern age. A prominent example of an old and very advanced visualization technology is cartography: It has gone through thousands of years of development and reached such a complexity that it became an academic discipline itself (at the beginning of the 20th century). Before computers were available, all these depictions were created manually. With the advent of computer graphics, also visualization has been revolutionized.

3. HISTORY OF COMPUTER GRAPHICS

After the invention of the computer in the 1940s, it did not take long until the idea to create images with the computer came up. Already in the 1950s, the first graphical output devices (plotter and cathode ray tube) and a graphical input device (light pen) were developed. In the 1960s, the development of computer graphics started in universities, national laboratories, and industries. Plotters were used in geodesy, road construction, and meteorology but also by pioneers in computer arts.

In 1963, the first computer-generated film in space research was created. While early computer graphics were vector graphics, at end of the 1960s, raster graphics were developed. In 1968, ray casting was invented and the pursuit of photorealism started. In 1969, the first SIGGRAPH conference took place, which from the beginning was and still is the major annual event in computer graphics. Computer graphics became a recognized subdiscipline of computer science at universities. In the 1970s, many early breakthroughs happened, like hidden surface and texture mapping. In 1979, ray tracing was invented, which recursively traced individual light rays according to optical laws. In the 1980s, graphics hardware development started, which brought the costs of image synthesis down to affordable prices. The pursuit of photorealism continued by developing global illumination models. The first fully computer-animated movies were created and videogames started. In the 1990s, photorealism came a step closer, and OpenGL and DirectX APIs were developed, whose major functionality could be implemented in hardware. Powerful workstations with graphics hardware became then ubiquitous in industry and research.

The world's first GPU, realizing the whole graphics pipeline in hardware, appeared in 1999. High-end graphics became now possible not only on expensive workstations but also on consumer-level PCs. This development continued in the 2000s with improved texture and shading in computer graphics via the widespread adoption of normal mapping, bump mapping, and a variety of other techniques. The movie industry increasingly used computer graphics to produce more and more realistic animations and special effects in films. Scientific computing started to utilize the functionalities of GPUs for general-purpose computing (GPGPU – general-purpose computing on graphics processing units). Shading languages were introduced for real-time rendering, enabling the computation of complex optical effects and demonstrating the first real-time ray tracers on highly-parallel computer systems.

At the end of this decade, Nvidia announced an API for real-time ray tracing on GPUs. In the 2010s, computer-generated imagery became ubiquitous and real-time photorealistic rendering became possible. Graphics hardware, supporting the multistage process of rendering, became even more flexible by offering programmable shaders that shader languages. GPUs for mobile devices became available, bringing real-time computer graphics to tablets and smartphones. Ray tracing, which has been the Holy Grail for rendering realism since its

invention almost 40 years ago, became available on consumer platforms using GPUs specifically designed to support ray tracing. It has been recently announced that GPUs combine hardware-based ray-tracing functionality with deep learning units (recurrent autoencoders) for efficient denoising. This technology promises to bring real-time ray tracing on consumer platforms into the regime of image resolutions and frame rates that are required in practical applications¹.

4. DEVELOPMENT OF DATA VISUALIZATION

An important step towards the foundation of data visualization was taken in 1967 by cartographer Jacques Bertin with his book on graphic theory and visualization (Bertin, 1967). He developed the theory of “graphic variables” and showed that in cartography, depending on the scale level of the data to be displayed, specific uses of the graphic variables are favorable. In the 1970s, John Wilder Tukey, a pioneer in data analysis, developed new methods for visualizing statistical data, also of higher dimension, and introduced an explorative data analysis, i.e., the interactive, visually-supported data analysis (Tukey, 1977). The development of computer-aided designs started and, in sciences, e.g., in molecular crystallography, researchers started to utilize computer graphics techniques for depicting and understanding data. With the increasing volume and complexity of the data produced in science, the use of visualization became even more attractive. In the 1980s, supercomputers entered science, which significantly increased the volume of simulation data. This, together with the vision of using data visualization for understanding scientific data in general, led to the 1987 NSF visualization report (McCormick, 1987). This prophetic publication, based on recommendations of a panel of experts and pioneers, is often regarded as the birth of data visualization as a scientific field.

In the following year, volume rendering was proposed in two papers (Levoy, 1988; Drebin, Carpenter, & Hanrahan, 1988): a computer graphical technique for visualizing volumetric data. The promising early developments, the rapid technical progress in graphics hardware, the number and variety of new ideas, the number of interested users, and the orientation diverging more and more from pure computer graphics led to the foundation of a new dissemination platform: the IEEE Visualization Conference in 1990². This conference, the most important forum for data visualization, has been held annually until today. As the field matured as a scientific one, chairs for visualization were set up at universities, establishing the new academic subject.

In the course of developing the field, three subareas emerged: Scientific Visualization (SciVis), Information Visualization (InfoVis), and Visual Analytics (VA). However, despite

1 For more details on computer graphics history, see Wikipedia, Computer Graphics – History, http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_graphics#History

2 See Wikipedia, IEEE Visualization, https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_Visualization and <http://ieevis.org>.

many attempts to define a clear demarcation, there are no clear-cut borders. The reason is that the historical development was not only based on scientifically justifiable distinctions but also on non-scientific aspects like preference for / dislike of, mathematically-oriented research vs. perceptually- and cognitively-oriented research. Even aspects of funding opportunities and sociological contingencies played a role in the historical development.

It is well known that particularly in fields where numerical simulations are performed, SciVis is often associated with that kind of data. However, there is plenty of scientific data that is partially or not spatiotemporal. Since practical solutions require to consider all types of data in an application field, SciVis research also dealt with non-spatial data, making the classification doubtful.

InfoVis is more about visualizing ‘abstract’ data, such as higher-dimensional data, or data represented by graphs. The only fundamental difference, though significant, is that in spatiotemporal data the graphical variable ‘location’ is generally defined by the data. This, in turn, means that the design space of graphical representations is more limited. Consequently, in InfoVis, the design and evaluation of graphical representations have a more prominent place. Nevertheless, such kind of data also show up in scientific research. Furthermore, InfoVis is as scientific as SciVis, and SciVis is also related to visualizing information, which shows that the terminology is confusing.

Visual Analytics emphasizes a specific flavor that was already present in SciVis. In this subfield, there is a long history of combining visualization with automated data analysis, often in the form of ‘feature extraction’ (where feature means some patterns or structures characterizing the data, like the vortices in a fluid flow). In InfoVis, however, this combination of visualization and automated data analysis was less common. This led to the emergence of a new field, called Visual Analytics, which combines the power of automated data analysis with the ability of humans to quickly capture patterns or trends visually. A more extensive, perhaps somewhat overbearing, definition of Visual Analytics is “the science of analytical reasoning facilitated by interactive visual interfaces” (Cook & Thomas, 2005).

5. GOALS OF DATA VISUALIZATION

At the heart of the visualization there is data, which represents some section of reality. All kinds of data are possible: scientific, medical, technical, economic, environmental... As long as this data is processed automatically and the processing itself is not of concern, visualization is not needed. Visualization comes into play when information must be conveyed to humans.

The range of goals and applications is wide. For instance, natural scientists or economists are often concerned about creating a formal model for every process. To do this, they observe the process, i.e., acquire the data, determine structural and quantitative characteristics, and

connect these results with existing knowledge or established frameworks. Health professionals want to diagnose illnesses, make therapy decisions, and monitor therapies. To this end, they acquire patient-specific data, link it with their knowledge, interpret it, and finally, based on the results, make decisions. Other examples are everyday life applications, like navigation using interactive maps and routing algorithms, or analysis of relationships in social networks using visual graph representations.

Generally speaking, the goal of data visualization is the data-driven assistance in understanding complex situations or processes, making decisions, or developing models. As different as these goals are, the core task is always to convey to people information that is ‘hidden’ in potentially large data and to do this in a perceptually effective and cognitively favorable manner. The overall goal is to help people to carry out tasks more effectively.

6. SOME ASPECTS OF THE METHODOLOGY OF VISUALIZATION

The science of visualizing data uses knowledge on the theory of colors, the human visual system, and the human cognition to systematically derive visual metaphors for the correct, efficient and comprehensive recognition of data patterns and data relations.

The activity of visualization is schematized by the visualization pipeline. The visualization pipeline specifies the process chain by means of which data is converted into images. It consists of a sequence of functions for generating, filtering, and cleaning data; mapping data to geometries, colors, and textures; rendering those objects; and displaying the rendered image. All levels in the pipeline can be interactively performed and controlled. This means data visualization is not only about creating images but also about how to interact with visual representations. The design space is therefore huge.

When designing a visualization software, three kinds of resource limitations must be taken into account: those of humans, displays, and computers. Though the two latter items, in principle, can be scaled a bit further, in practical situations there are often hard limits. When designing a visualization tool, two major types, explanation and exploration must be considered.

Regarding the type of data: In visualization, abstraction from semantics (i.e., the real-world meaning of the data) and focusing on their structural properties must be done. There are different classifications in use; the following is just one example.

Most data sets are mappings. That map ‘points’ in a domain to ‘points’ or ‘attributes’ in some space. A simple example of domain is $D = [1,2,3,\dots,m] \times [1,2,3,\dots,n]$. If we assign to each $(i,j) \in D$ some value, we get a table.

If we assume the intervals that build up D as (conceptually) continuous, we get a field. Of course, fields cannot be represented on the computer by enumerating their infinite values.

Therefore, fields are sampled in a finite number of sampling points, which together define some ‘grid’ in the domain. Depending on the ordering of the points in the domain, or the grid type, which ranges from an orthogonal equidistant Cartesian grid to an unstructured multiresolution grid, there is a large variety of fields.

Furthermore, the attributes can be more complex than just real values: they can be vectors (comprising a vector field, e.g., a flow field) or tensors (comprising a tensor field). Additionally, the attributes can be static or dynamic (time-dependent). Another typical domain is a graph which consists of nodes and edges. If values are assigned to the nodes and/or edges of the graph, we get an attributed graph.

Regarding the ‘attribute types’, categorical values (the data values represent names or categories) and ordered attributes may be distinguished. Within the ordered type, we find ordinal attributes (e.g., rankings) and quantitative attributes (e.g., integers and real numbers).

All these dimensions span a large space of possible data types. And, accordingly, an array of techniques have been developed to visualize data of these different types. For examples, see recent textbooks (Munzner, 2014; Mayer, 2018; Telea, 2015).

However, a visualization technique that serves well for one task can be poorly suited for another one. Therefore, when designing a visualization or ‘visual encoding’, the second dimension ‘task’ has also to be considered. Here again, an abstraction from the specific application must be done, aiming at singling out the basic types of elementary cognitive and productive tasks that users have to perform.

There are many suggestions on how to sort and categorize in the ‘task space’. Since no full agreement has been achieved, this issue will not be detailed herein. An overview on the categorizations of data and tasks, and the related visual encodings is provided in textbooks (Munzner, 2014; Mayer, 2018), particularly for spatial and spatiotemporal data (Telea, 2015).

Another important point not presented in this research is the fact that the true potential of visual data analysis can be exploited only with interaction. Users must have the possibility to interact with visual representations. Therefore, the design task consists not only in finding a suitable visual encoding but finding a suitable combination of interaction and visual encoding.

Powerful techniques that strongly rely on interaction have been developed in visualization. One specific example is linked to views that employ individual visualizations (displaying different aspects of the data) and are tied together through user interaction. Combined with ‘brushing’ (i.e., the selection of data items by simply brushing them with a virtual brush in one view) and then highlighting the selected data in other views, a sophisticated exploration of even high-dimensional data becomes possible.

7. DIGITAL TRANSFORMATION & VISUALIZATION

In order to achieve higher processing speed, lower error rates, and lower costs, processes in business, logistics, traffic, administration, and everyday life are delegated more and more to networked computer systems equipped with sensory systems (Industry 4.0, IOT, among others).

However, it must be avoided that humans are excluded from or become dependent on mechanisms and algorithms that are opaque to them. This means that the aim should be to make these computer systems transparent to the people who depend on them. In this context, visualization can surely help.

On the other side, experts who are implementing these systems will remain 'in the loop'. They need to gain a deep insight into these systems of growing complexity and the processes running on them. Therefore, it is to be expected that, similarly to computer security where data visual analytics has become an essential tool, digital transformation will also increase the need for data visualization.

REFERENCES

- Bertin, J. (1967). *Sémiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Paris, Mouton/Gauthier-Villars
- Cook, K. A., & Thomas, J. J. (2005). *Illuminating the path: The research and development agenda for visual analytics* (No. PNNL-SA-45230). Pacific Northwest National Lab. (PNNL), Richland, WA (United States).
- Drebin, R. A., Carpenter, L., & Hanrahan, P. (1988). Volume rendering. In *ACM Siggraph Computer Graphics* (Vol. 22, No. 4, pp. 65-74). ACM.
- Levoy, M. (1988). Display of surfaces from volume data. *IEEE Computer graphics and Applications*, (3), 29-30.
- McCormick, B.H., DeFanti, T.A., and Brown, M.D. (1987). Visualization in Scientific Computing. *Computer Graphics* 21(6). New York: ACM SIGGRAPH.
- Meyer, M. & Fisher, D. (2018). *Making Data Visual*. O'Reilly Media
- Munzner, T. (2014). *Visualization analysis and design*. AK Peters/CRC Press.
- Telea, A. C. (2015). *Data visualization: principles and practice*. AK Peters/CRC Press.
- Tukey, J.W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley.

Monitoring mental health of college students using smartphones

Laura E. Barnes

lb3dp@virginia.edu / University of Virginia, Virginia, USA

Receipt: 15-8-2018 / Acceptance: 3-9-2018

ABSTRACT. A better understanding of an individual's smartphone use can help researchers to improve methods for early detection, evaluation, and intervention of anxiety disorders. For this reason, we present an exploratory study of behavioral markers extracted from smartphone data. We examine fine-grained behaviors before and after smartphone communication events across social anxiety levels. To discover behavioral markers, we model the smartphone as a linear dynamical system with the accelerometer data as output. In a two-week study of 52 college students, we find substantially different behavioral markers prior to and after outgoing phone calls when comparing individuals with high and low social anxiety.

KEYWORDS: social anxiety, mental health, smartphones, mobile sensing, behavioral dynamics

Monitoreo de la salud mental de estudiantes universitarios que emplean teléfonos inteligentes

RESUMEN. Una mejor comprensión del uso del teléfono inteligente de un individuo puede ayudar a los investigadores a mejorar los métodos para la detección temprana, evaluación e intervención de trastornos de ansiedad. Por este motivo, presentamos un estudio exploratorio de marcadores de comportamiento extraídos a partir de los datos de teléfonos inteligentes. Examinamos los comportamientos específicos antes y después de los eventos de comunicación con teléfonos inteligentes asociados a los niveles de ansiedad social. Para descubrir los marcadores de comportamiento, modelamos el teléfono inteligente como un sistema dinámico lineal con los datos del acelerómetro como salida. En un estudio de dos semanas de duración realizado con 52 estudiantes universitarios, encontramos marcadores de comportamiento sustancialmente diferentes antes y después de las llamadas telefónicas salientes al comparar a personas con ansiedad social alta y baja.

PALABRAS CLAVE: ansiedad social, salud mental, teléfonos inteligentes, sensores para móviles, dinámica del comportamiento

1. INTRODUCTION

Social anxiety is characterized by intense fear and avoidance of socially evaluative situations (American Psychiatric Association, 2013). Socially anxious individuals tend to exhibit behaviors (e.g., trembling, sweating, and fidgeting) consistent with this subjective state when a social interaction is perceived as threatening (Stein & Stein, 2008). The experience of high social anxiety levels often results in severe avoidance of social interactions. Therefore, it is important to find behavioral markers indicating individuals' social anxiety.

Traditionally, psychological research on factors linked to social anxiety has relied on laboratory-based methods that limit the ecological validity of the findings. In contrast, recent advances have made it possible to passively monitor how behavioral systems unfold in people's natural settings by leveraging sensors embedded in personal smartphones (Huang et al., 2016; Chen et al., 2013). This approach has key advantages over traditional self-report surveys, which are subject to reporting bias, since behaviors suggestive of anxiety can be inferred passively and in situ.

However, naturally arising variations among smartphone user behaviors, and the link between physical and psychological dimensions of human behavior are not yet well understood.

We demonstrate passively sensed micromotions captured via smartphone accelerometers before and after phone call and text message communication events. We hypothesize that social anxiety levels are related to subtle differences in user motion before and after these communication events. We refer to these motions as the user's behavioral dynamics, and we use a linear dynamical system (LDS) to extract behavioral features from smartphone accelerometer data shortly before and after communication events. For phone calls, we also distinguish behaviors for outgoing and incoming calls. Using the extracted features, we then compare the effect sizes across social anxiety levels and communication types.

2. METHODOLOGY

With approval from the University of Virginia (UVA) Institutional Review Board, we recruited 52 undergraduate participants from the Psychology Department's participant pool. Participants received course credits as compensation. Before the study began, each participant was assessed on the Social Interaction Anxiety Scale (SIAS) (Mattick & Clarke, 1998). The SIAS measures the long-term characteristic reactions to social interactions based on 20 items that are rated from 0 to 4 (e.g., "I have difficulty talking with other people."). Total SIAS scores range from 0 to 80, with higher scores indicating greater anxiety associated with social interactions. Our participants' SIAS scores had a mean of 35.02 and a standard deviation of 12.10. In total, we collected 1,642 phone calls and 28,381 text messages from all the participants during the study period.

During the initial lab session, we installed a general-purpose mobile sensing app called Sensus (Xiong, Huang, Barnes, & Gerber, 2016) on each participant's personal smartphone to passively collect accelerometer data at 1 Hz as well as phone call and text message logs, all of which were uploaded to Amazon Web Services (AWS) Simple Storage Service (S3).

In our study, communication events referred to phone calls and text messages. To explore the effects of social anxiety on behavior around communication events, we first preprocessed the communication events. For phone calls, we distinguished outgoing calls and incoming calls, in which outgoing calls were individual initiated and planned social interactions while incoming calls were unexpected social interactions. Text messages were grouped as one event if two consecutive texts were fewer than 10 minutes apart. We could not distinguish the direction of text messages because phone numbers were randomly hashed to protect privacy of participants.

We preprocessed the accelerometer data into pre-event and post-event data indicating 10 minutes before a communication event happens and 10 minutes after a communication event finishes, respectively. The data within the pre-event and post-event observation time periods was then used to analyze behavioral dynamics. Figure 1 gives an example of a 9-minute outgoing phone call of a subject. It shows the accelerometer data during the pre- and post-call observation periods, which we used to analyze the behavioral dynamics before and after communication events. Before conducting further analysis of behavioral dynamics, we first applied a sliding window process to segment the accelerometer data into smaller, fixed-size chunks.

The details of this feature extraction (Huang et al., 2017) are shown in the lower half of Figure 1. The motion data in pre- and post-event observation periods are segmented into fixed sized sliding windows. The bottom half shows the feature extraction procedure using linear dynamic model and distance matrices.

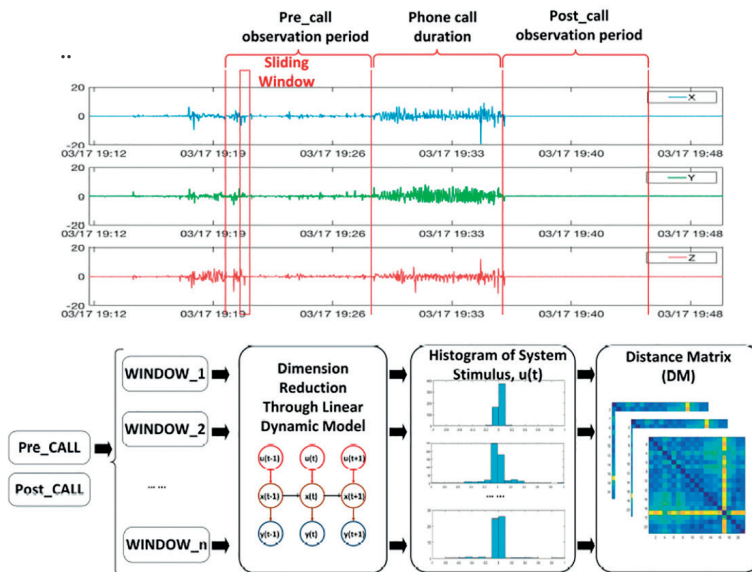


Figure 1. Diagram of the study design: an example of a 9-min outgoing call
Source: Huang, et al., 2017

After preprocessing and applying the linear dynamic model, we were able to reduce the high-dimensional raw temporal motion data to an array of low-dimensional features. These arrays were considered in a pairwise fashion to construct a distance matrix that uniquely characterized each subject’s behavioral dynamics before and after a smartphone communication event.

3. RESULTS

We used the features and metrics based on the approach described in Figure 1 for the behavioral dynamics analysis. We distinguished the behaviors before and after phone calls and text messages to explore the behaviors associated with social anxiety. Then we used effect-size analysis to discover the behavioral difference between low and high social anxiety groups. We also distinguished outgoing and incoming phone calls to further understand how individuals behave when they are going to initiate a social communication and when they have just ended a social communication event. In our study, we used Cohen’s *d* to calculate the effect size. Generally, a > 0.5 Cohen’s *d* shows a medium effect size, while > 0.8 shows a large effect size (Sawilowsky, 2009).

Table 1 summarizes the features and metrics used for the effect-size analysis. In the analysis, we grouped participants in a three-group setting using with a low-SIAS threshold and a high-SIAS threshold to split the participants into three groups: 1) low social anxiety risk, 2) medium social anxiety risk, and 3) high social anxiety risk. We analyzed the effect size between the low social anxiety risk group and the high social anxiety risk group. This setting provided a more nuanced grouping of the participants.

Table 1
Definition used for features and metrics

Term	Definition
\overline{FAC}_1	The average of the mean values of all distance matrices (DM(i)) belonging to a subject
\overline{FAC}_2	The average of the standard deviations of all distance matrices (DM(i)) belonging to a subject
MC_pre	The metric for the pre-event observation period of a phone call
MC_post	The metric for the post-event observation period of a phone call
MT_pre	The metric for the pre-event observation period of a text message group
MT_post	The metric for the post-event observation period of a text message group

Source: Huang, et al., 2017

In Table 2, two features are explored: 1) the average of all distance matrices' means belonging to one observation period (FAC1), and 2) the average of all distance matrices' standard deviations belonging to one observation period (FAC2). The results that have at least a medium effect size (≥ 0.5) are shown in bold typeface.

Table 2

Effect-size analysis of the motion data before outgoing calls and after incoming calls between groups with (relatively) low versus high levels of social anxiety

SIAS low	SIAS high	Outgoing calls (MC_pre)		Incoming calls (MC_post)	
		\overline{FAC}_1	\overline{FAC}_2	\overline{FAC}_1	\overline{FAC}_2
27	44	0.2452	0.5234	0.3099	0.1748
28	43	0.3007	0.5556	0.0835	0.2976
30	39	0.2771	0.5490	0.2028	0.5103

Source: Huang, et al., 2017

Our results suggest that behavioral metrics observed before outgoing phone calls have stronger associations with social anxiety scores than metrics observed after incoming phone calls. Our results also suggest that individuals in the low and high social anxiety groups behave distinctly before an active social interaction (when initiating a social interaction). These results may indicate that individuals with different social anxiety levels experience different levels of anxiety and associated behavioral variations (e.g., fidgeting and shaking) before calling others.

These findings may ultimately advance early detection, diagnosis, and the evaluation of treatment progress for social anxiety disorder.

4. CONCLUSIONS

Current methods to monitor social anxiety are usually based on retrospective self-report in the lab with little data to illuminate individuals' real-world behaviors. This paper presents a knowledge exploration study of the behavioral dynamics of smartphone use before and after phone calls and text messages. We created metrics to represent behavioral dynamics using accelerometer and communication history. We demonstrated that there is an observable difference in motions across social anxiety levels and that these behaviors further vary across different communication situations. This work opens up possibilities of passively monitoring behavioral markers of social anxiety. By passively sensing micro-level motion patterns, researchers and clinicians may better understand behavioral markers of social anxiety that can potentially be used to optimize treatment and intervention delivery.

REFERENCES

- American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.).
- Chen, Z., Lin, M., Chen, F., Lane, N. D., Cardone, G., Wang, R., ... & Campbell, A. T. (2013). Unobtrusive sleep monitoring using smartphones. In *Pervasive computing technologies for healthcare (pervasivehealth), 2013 7th international conference* (pp. 145–152).
- Huang, Y., Xiong, H., Leach, K., Zhang, Y., Chow, P., Fua, K., ... & Barnes, L. E. (2016). Assessing social anxiety using gps trajectories and point-of-interest data. In *Proceedings of the 2016 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing* (pp. 898–903).
- Huang, Y., Gong, J., Rucker, M., Chow, P., Fua, K., Gerber, M. S., ... & Barnes, L. E. (2017). Discovery of behavioral markers of social anxiety from smartphone sensor data. In *Proceedings of the 1st workshop on digital biomarkers* (pp. 9–14). New York, NY, USA: ACM. DOI: 10.1145/ 3089341. 3089343
- Mattick, R. P. & Clarke, J. (1998). Development and validation of measures of social phobia scrutiny fear and social interaction anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, 36(4),455-470. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005796797100316>. DOI:10.1016/S0005-7967(97)10031-6
- Sawilowsky, S. S. (2009). New effect size rules of thumb. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 8(2), 597–599.
- Stein, M. B. & Stein, D. J. (2008). Social anxiety disorder. *The Lancet*, 371(9618), 1115-1125. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)60488-2
- Xiong, H., Huang, Y., Barnes, L. E., & Gerber, M. S. (2016). Sensus: A cross-platform, general-purpose system for mobile crowdsensing in human-subject studies. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* (pp. 415–426). New York, NY, USA: ACM. DOI: 10.1145/2971648.2971711

Smart cities: potential and challenges

Andrea Zanella
zanella@dei.unipd.it / University of Padova. Padova, Italy

Receipt: 18-8-2018 / Acceptance: 5-9-2018

ABSTRACT. This paper aims to discuss a few fundamental questions related to the smart city paradigm, such as “what is actually a smart city?”, “what can we expect from a smart city?”, and “which problems have to be addressed and solved in order to turn a standard (dumb) city into a smart one?” Starting from a discussion of the Smart City concept, we will illustrate some of the most popular smart services using the results of proof-of-concept experiments carried out in different cities around the world. Successively, we will describe the fundamental functions required to build a smart service and the corresponding enabling technologies. We will then describe the main research challenges that need to be addressed in order to fulfill the Smart City vision, and we will conclude with some final remarks and considerations about the possible evolution of the Smart City concept.

KEYWORDS: smart cities, smart services, smart governance, smart mobility, smart buildings

Ciudades inteligentes: potencial y desafíos

RESUMEN. Este documento tiene como objetivo discutir algunas cuestiones fundamentales relacionadas con el modelo de una ciudad inteligente, tales como: ¿qué es realmente una ciudad inteligente?, ¿qué se espera de una ciudad inteligente? y ¿qué problemas tienen que ser abordados y resueltos para transformar una ciudad estándar (“*dumb*”) en una ciudad inteligente? A partir de la discusión del concepto de Ciudad Inteligente, ilustraremos algunos de los servicios inteligentes más populares utilizando los resultados experimentales de pruebas de concepto llevadas a cabo en diferentes ciudades del mundo. Seguidamente, se describirán las funciones fundamentales requeridas para crear un servicio inteligente y las tecnologías que las hacen posibles. Asimismo, se expondrán los principales retos de la investigación que necesitan ser abordados para completar la visión de Ciudad Inteligente, y terminaremos con algunas observaciones y consideraciones finales sobre la posible evolución del concepto de Ciudad Inteligente.

PALABRAS CLAVE: ciudades inteligentes, servicios inteligentes, gobierno inteligente, movilidad inteligente, edificios inteligentes

1. INTRODUCTION

We are undoubtedly entering into a “smart” era: we own smart phones, wear smart watches, watch smart TVs, use smart appliances, and dream to live in smart cities.

As a matter of fact, an increasing number of cities around the world (Caragliu, Del Bo, & Nijkamp, 2011), including global capitals such as Barcelona (Gascó-Hernandez, 2018), New York City, Amsterdam, and Singapore, as well as smaller towns such as Padova-Italy (Cenedese, Zanella, Vangelista, & Zorzi, 2014), have initiated what we can define as a “smartering” process.

However, despite the steady stream of scientific and technical publications, articles on magazines, and web pages dedicated to the Smart City idea, we still lack a formal and universally accepted definition of this paradigm. For example, Hall et al. (2000) offer a rather broad interpretation of the Smart City concept, which embraces services, technologies, and processes.

The vision of Smart Cities is the urban center of the future, made safe, secure, environmentally green, and efficient because all structures—whether for power, water, transportation, etc.—are designed, constructed, and maintained making use of advanced, integrated materials, sensors, electronics, and networks which are interfaced with computerized systems comprised of databases, tracking, and decision-making algorithms. (Hall et al., 2000)

A more technical-centered vision is offered by Daniel and Doran (2013), where they associate the smartness of a city to the existence of a city-wide communication infrastructure, and the existence of software and sensors that can improve the quality of life of citizens: A city that has deployed and integrated on a large-scale advanced information and communications technology (ICT), including wireless and broadband connections, advanced analytic software, and intelligent sensors, to achieve significant improvements in efficiency and in the quality of life, and to help change the behavior among residents, businesses, and governments, so cities can grow in a more sustainable way.

A similar vision is proposed by IBM, which suggests a holistic approach, focused on integrated technologies. Again, the objectives are related to quality of life in general¹: Cities must take greater advantage of the most advanced technologies to update service delivery. Cognitive computing [. . .] introduces fresh opportunities for government organizations to improve citizens’ lives and the business environment, deliver personalized experiences, and optimize program and service outcomes.

1 IBM, Smarter Cities – Overview, Online Available: http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/overview. Last visited on: 20 Sept. 2018.

Lombardi, Giordano, Farouh, & Yousef (2012) stress the relationship between citizens and system administration, a point of view shared by Toppeta (2010) who defines a smart city as “A city “combining ICT and Web 2.0 technology with other organizational, design and planning efforts to dematerialize and speed up bureaucratic processes and help to identify new, innovative solutions to city management complexity, in order to improve sustainability and livability”.

Also, Giffinger et. al (2007) stress the role of citizens in the smart city ecosystem, remarking their ability of being self-decisive, independent, and aware.

By making an abstraction effort, we can identify three main aspects that are common in most of the definitions and visions of Smart City proposed in the literature, and that can be assumed as the actions that may turn a dumb city into a smart one, namely:

- Improving the quality of public services and of the urban environment
- Reducing the Operational Expenditure (OPEX) of such services or, at least, improving the quality/OPEX ratio
- Closing the gap between citizens and public administration

We can hence state that the ultimate objective of a smart city is to make a more efficient use of public resources, whether they are material or human.

The information and communication technologies (ICT) are definitely instrumental to achieve such an ambitious objective but are not the only enabler. Citizens indeed play an equally important role, as it will be discussed in the next sections.

In the rest of this paper, we will illustrate the potential of the Smart City concept by briefly describing some notable smart city services and applications, some of which have already been deployed in practice. We will then describe the enabling technologies, with particular attention to the communication systems, and we will finally conclude with a discussion of the open challenges that still need to be addressed in order to fully unleash the potential of the Smart City paradigm, and of the emerging trends.

2. THE POTENTIAL OF THE SMART CITY CONCEPT

A modern city can be seen as a complex ecosystem consisting of infrastructures, processes, and citizens. The city administration is in charge of designing, developing, and managing the infrastructures and processes of a city to guarantee sustainability, while providing for the needs of the citizens in a way that accounts for their traditions, habits, lifestyles, and expectations. Therefore, citizens should be at the center of the design of a smart city and, indeed, most of the smart services proposed so far are intended to improve the quality of life in the city, with a double return in terms of satisfaction of the citizens and reduction of the OPEX.

By considering the solutions proposed in the literature, and the services already implemented by some important cities in the world, we can identify six thrusts that should be addressed in the design of a smart city: namely, governance, citizens, mobility, utilities, buildings, and environment (see Fig. 1).

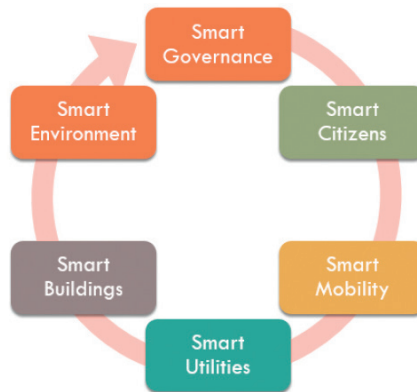


Figure 1. Smart city thrusts
Elaborated by the author

In order to exemplify and discuss the potential of the Smart City concept, we will briefly illustrate how each of the above thrusts can take form into practical services and applications.

2.1 Smart governance

The ultimate goal of Smart Governance is to (dramatically) improve the governance processes of the city by favoring the coordination of the different involved agencies, reducing the complexity of the administrative mechanisms, and improving transparency towards the citizens.

A first necessary (though not sufficient) step to achieve this ambitious goal is the harmonization and consolidation of the digital systems used by the different governance agencies into a single digital platform. Such a solution would provide dramatic advantages to both the citizens and the city administration. The citizens would indeed have one single point of access to the public administration, whether it is for residential, fiscal, education, medical, or any other matter, greatly reducing the waste of time (and frustration) of interacting with many different public offices. At the same time, the public administration would have a simple and effective way to access demographic, corporate, and other types of data, with the possibility of drawing demographic maps of the city, identifying spontaneous communities, revealing the risks of the segregation of part of the population and the creation of ghettos, tracking the demographic flows, and so on. In addition, using one single platform in place of many (heterogeneous)

systems would translate in a reduction of the costs to acquire, deploy, and maintain the information infrastructure, which can then be realized by leveraging the Infrastructure/Platform/Software-as-a-Service (IaaS, PaaS, SaaS) paradigms.

Therefore, from a technical point of view, enabling the Smart Governance vision will require access to cloud services, which can either be provided autonomously by a central public office, or rented from an external service provider. The peripheral offices, in turn, will only need a good broadband connection to the governmental cloud in order to enable the PaaS and SaaS solutions.

2.2 Smart citizens

As mentioned before, smart cities should be built around their citizens, not only for philosophical or social motivations but also for a very pragmatic reason: Public administrators need to build consensus about their policy among the citizens, and the investments in smart city services may have an economical return only in the long term (likely longer than their public mandate). Therefore, in order to accept the expenses in smart city services, citizens must be informed and involved in the creation of their own smart city.

This engagement can be pursued in different ways. One possibility is to increase transparency of the administration processes by giving public access to a number of information regarding the current urban scenario as, for example, real-time maps of traffic, pollution, schools population, criminality, and so on. A second action may consist in providing tools to collect feedback from the citizens in order to realize a two-way communication channel between citizens and administrators. Although today many administrations have citizen offices to listen to the people's needs, the process will be greatly improved by dematerializing it through a digital platform that allows the citizens to express their opinions, suggestions, and requests in a simple and convenient manner. Such a platform may also be used to improve some public services with the help of the citizens that, for example, may indicate a malfunctioning of the public illumination system, broken/full trash bins, holes in streets or sidewalks, dangerous situations, and so on².

Along the same line of thinking, citizens can be deeply involved in the creation of new smart city services. An example of this type of action is provided by the annual Amsterdam Smart City Challenge, a yearly event that is aimed at collecting ideas for new services directly from the citizens. One such challenge has led to the development of the Mobypark app³, which allows owners of parking spaces to rent them out to people for fee, while the data generated from this app can be used by the city administration to determine parking demands and traffic flows in Amsterdam.

2 See, e.g., <http://www.decorourbano.org>

3 <https://www.mobypark.com/en>

Note that all of this would be easily realizable within the Smart Government framework described before, which remarks the potential synergy among the many facets of the smart city ecosystem.

2.3 Smart mobility

Mobility is a major issue in most modern cities, with a huge impact on the life quality of the citizens and the healthiness of the environment, not to mention the economic impact that slow urban mobility can have on basically all business sectors. Many metropolises today discourage the urban use of private motor vehicles, e.g., by applying fees to enter the city, or limiting the access to most critical areas, or even increasing the taxes for cars' owners. At the same time, they promote alternative mobility through the creation of pedestrian areas and bike lanes, and offering bike- and car-sharing services. These initiatives are complemented by efficient and capillary public mobility services, which include buses and (subway) trains, with routes and time schedules designed to best suit the mobility flows in town.

Knowing such mobility flows is hence pivotal to realize smart mobility plans. For this reason, traffic monitoring systems have been widely deployed in many cities. In particular, the last generations of traffic monitoring cameras can provide a number of useful information, such as real-time traffic maps, detection of congestion and accidents, recognition of speed and traffic light violations, and even checking each single vehicle's condition (revision, insurance, taxes), by means of real-time plate identification and access to the motorist's databases.

Besides driving the public administration decisions regarding the discipline of traffic and the planning of public transportation, the data collected by the traffic monitoring services can also be used to display real-time maps of roads congestion in the city, thus making it possible for citizens to better plan their trip to the office or decide which means to take. By combining this information with a smart traffic lighting system, it is furthermore possible to realize advanced services, as done in Barcelona, where a traffic management system can track the position and direction of the public transportation and emergency vehicles, and make them find green traffic lights at intersections⁴.

Smart parking is another very useful service that can contribute to the reduction of traffic and pollution in a city. Its realization requires the deployment of a grid of sensors to monitor the occupancy of the different parking spaces. The information is usually delivered to a central control station that makes it available in real-time to the drivers through digital roadside panels or web apps. The sensing can be realized either by equipping each parking slot with a very simple sensor that can detect the presence of a vehicle, or by means of cameras that,

⁴ <https://www.barcelona-metropolitan.com/features/smart-city-Barcelona/>

using advanced signal processing techniques, can recognize which parking places are available and which are occupied. The data collected by these sensors is then sent to the control station through different transmission technologies, which will be described in Section 3.2.

2.4 Smart utilities

A city is expected to provide a number of utilities to its citizens, such as electric power, water, gas, and waste collection. These services are generally offered by a number of different private or public companies that often operate in a competitive market, despite in certain cases they basically hold a monopolistic position. Clearly, the costs to realize and maintain the infrastructures required to deliver such services is reflected into the bills paid by the citizens, though sometimes the municipality covers part of such costs. Therefore, improving said services and reducing the OPEX can provide substantial advantages to both citizens and public administration.

Once again, the information and communication technologies can play an important role in this context. An example is the smart power grid which enhances the current power grid with monitoring stations that can instantaneously measure the values of active and reactive power along the lines, thus making it possible to identify the lines with a higher power dispersion caused by an imbalance between the different current phases. The smart grid can also include equalization elements to counteract the fluctuations in voltage levels due to the injection of power into the network by secondary power sources (such as small/domestic solar energy plants). In addition, it may be possible to deploy power storage units that can store the excess of power generated by such energy sources and release it when demanded by the consumers in order to minimize the costs (Erseghe, Zanella, & Codemo, 2014). In 2005, one of the main Italian power suppliers, ENEL, started deploying the first national smart grid with a cost of 2.1 billion euros. However, the investment returned 500 millions per year in OPEX reduction. Furthermore, smart grids are expected to be able to decrease CO₂ emissions by 12% in the USA and 15% in India (National Energy Technology Laboratory, 2007, p.17; Webb, 2008).

Similarly, sensors can be deployed to monitor the provisioning of water and gas, thus making it possible not only to obtain a real-time view of the service demand but also to rapidly detect problems such as leakages or pipe obstructions, dramatically reducing the time and cost of repairs.

2.5 Smart buildings

Many cities around the world dedicate an important budget to the preservation of their historical heritage. For example, the Scrovegni Chapel, in the city of Padova (Italy), contains some fragile frescoes painted by Giotto in the fourteenth century that need to be protected from the risk of degradation due to air pollution and humidity, as well as the high levels of CO₂

that may be generated by letting many tourists stay in the small chapel for long periods. To this end, the chapel has been equipped with an advanced heating ventilation air conditioning (HVAC) and air cleaning system, and with some sensors that monitor the quality of the air in the chapel. An algorithm then control the HVAC system in order to constantly maintain ideal environmental conditions within the chapel, irrespective of the external weather conditions and number of visitors (whose access rate is, anyway, limited and controlled). Similar monitoring systems are deployed in many historical buildings and museums with the main objective of preserving the artworks. The most advanced systems can provide a plethora of additional services, including information to the visitors (smart museum), monitoring of the affluence and permanence time of visitors in the different rooms of an exhibition center, theft prevention, and so on.

Note that the inertia of environmental conditions (temperature, humidity), particularly in large buildings, may delay the detection of variations of comfort levels, which may result in a late overreaction of the HVAC control system. This generates the typical oscillations in the comfort level of public environments (especially when occupied by a variable number of people during the day, as in school classrooms, museums, or conference rooms) with an important power consumption. Deploying a large number of (simple) environmental monitoring devices, which can provide an almost real-time map of the comfort levels in a building, and exploiting sophisticated models to predict the dynamics of the environmental conditions (possibly based on historical data through machine-learning techniques) would make it possible to realize real-time control systems that perform fine-grain proactive control of the HVAC system in order to stabilize the comfort level while reducing the power consumption of the system.

2.6 Smart environment

The preservation of the environment is another key aspect of the Smart City vision. Many metropolitan areas in the world live under a dome of pollution generated by vehicle emissions, building heating/cooling systems, and industrial activities. Furthermore, waste management is another factor with a significant impact in the urban ecosystem, both in environmental and economic terms.

The deployment of smart mobility, smart utilities, and smart building solutions can significantly contribute to alleviate the environmental footprint of cities, particularly in terms of air quality. In addition, the adoption of intelligent waste management systems can contribute to increase the amount and quality of recyclable garbage, with a positive effect on both the environment and service costs. For example, sensors can be applied to waste bins to periodically check their filling level and report this value to a control station, which can then optimize the route of the collector truck, increasing the efficiency and improving the quality of the service offered to the citizens.

2.7 The power of integration

Clearly, the service taxonomy that we used to illustrate the different lines of action and that can be followed to realize a smart city is rather artificial. In practice, a service may impact the urban tissue in many different ways. For example, a bike-sharing system can help to reduce the traffic congestion (smart mobility) and air pollution (smart environment). Furthermore, the data generated by the bike-sharing service can provide useful information of the citizens' habits (smart government) to the city administration. As an example, in Chiariotti, Pielli, Zanella, & Zorzi (2018), the data regarding the use of bikes provided by the New York City bike-sharing service⁵ has been used to track the main flows in the city, revealing the most "critical" bike stations. In addition, the access to such open data has made it possible to develop a mathematical model of the bike-sharing system and propose a methodology to improve the quality of the service offered to the citizens, while reducing the OPEX. As a further example, the access to the data regarding the utilization of the bike-sharing service provided by the municipality of Padova (Italy) has enabled the identification of clear-usage patterns, namely, from the train station to the university departments and back, which has permitted to (i) propose some improvements in the bike redistribution policy and (ii) design a system to help the redistribution of the bikes by the same users through a gamification approach (smart citizens).

A few regions in Italy have understood the potential of service integration and have centralized all information technology services into a single agency. In this way, it has been possible to reduce the costs to develop new infrastructures, thanks to the economy of scale, and promote the development of cross-sector applications, thanks to the use of a common software platform (smart government). One such application cross-references road accidents to the medical reports of the people involved in them, in order to identify the most dangerous roads and plan targeted road interventions (smart mobility).

Therefore, we can conclude that the full power of the Smart City vision can be expressed only by crossing the boundary of isolated services and merging multiple services into technologies.

In the following section, we will describe which technologies can be used to support such a vision.

3. ENABLING TECHNOLOGIES

The previous section described some of the possible advanced services that collectively contribute to make a city smarter. Although the list is far from being exhaustive, it is still apparent that the support of such services will require different technologies at all levels of the protocol

⁵ <https://www.citibikenyc.com/system-data>

stack. Nonetheless, most of such services share a common (despite rather abstract) logical structure which consists of the following five phases:

- Creating data
- Collecting data
- Sharing data
- Extracting information
- Building services

In the rest of this section, we will briefly describe the purpose and technical requirements of each such phases.

3.1 Creating data

Most smart city services need to collect data from the environment, e.g., light, temperature, humidity, pollution, proximity of people/vehicle, pressure, and so on. This data is generated by sensing devices that, to simplify the deployment of the services, should ideally be low cost, easy to configure and connect to the Internet, and self-sustainable without the need for maintenance. Such requirements are actually demanding and not easy to be satisfied.

To enable the so-called place-&-play functionality, i.e., the possibility to set up the system with little (if not zero) configuration (Biral, Centenaro, Zanella, Vangelista, & Zorzi, 2015), the devices need to be able to connect to the Internet (as for the Internet-of-Things paradigm) and to self-configure (authenticate itself to the server, configure the transmission parameters, etc.), which requires some computation, storage and communication capabilities.

Furthermore, in many cases, it may not be practical, or even feasible, to connect the peripheral devices to the power grid, so that sensor nodes may have to be battery powered. In order to minimize the need for maintenance, such devices must be extremely energy efficient, reaching a lifetime of ten to twenty years without the need for battery replacement, which can represent an important cost and be even infeasible in certain scenarios. Ideally, sensor nodes should be energy neutral, i.e., capable of scavenging the required energy from renewable environmental sources (typically, using small solar panels).

Unfortunately, these requirements contrast with the need to reduce the manufacturing costs, which increase with the complexity of the hardware. To overcome this roadblock, it is hence necessary to work on the software components of the system, trying to engineer all the processes (environmental sensing, data storing, data processing, and data transmission) in order to provide the required service level while minimizing the energy expenditure (Biason et al., 2017).

3.2 Collecting data

Once data is generated by the so-called “data producers” (i.e., the sensor nodes), it requires to be made available for the services that need to use it, which are generally referred to as “data consumers.” To this end, the first step consists in providing digital connectivity to the end devices, i.e., supporting what in the literature is often referred to as Machine Type Communication (MTC). Although the IoT paradigm would require that each single node supports the TCP/IP protocol stack, thus being able to talk to any other node in the Internet, in practice, the limitations of the end devices make it preferable to connect them to the Internet through an intermediate node called Gateway, which acts as proxy between the end devices and the IP world. Then, the connection between sensor nodes and gateway can be realized using dedicated transmission technologies, in many cases wireless, specifically designed to support MTC.

Today, there is a plethora of such technologies with different capabilities and characteristics. A possible classification is depicted and described in Fig. 2.

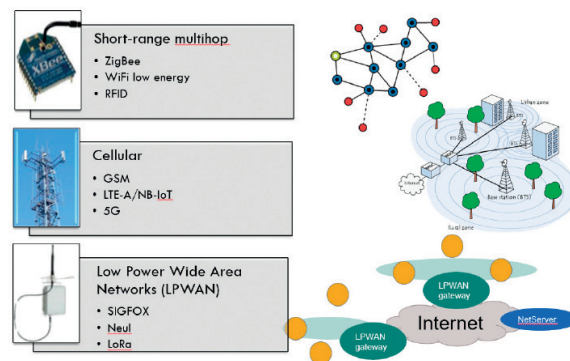


Figure 2. MTC wireless technologies classification

Elaborated by the author

3.2.1 Short-range multi-hop

Short-range wireless technologies were originally designed to interconnect electronic devices in close proximity, such as headsets and phones, or laptops and printers, as in the case of Bluetooth. Successively, they have been considered to interconnect electronic devices in office or home environments, realizing the so-called Domotic Scenario. They are characterized by low cost, low-energy consumption, and medium bitrates (from hundreds of Kbit/s to few Mbit/s).

However, their coverage range is typically limited to a few meters, and the coverage of large areas requires the adoption of multi-hop transmissions, i.e., node-to-node packet relaying, until the gateway is reached. However, the management of a multi-hop network is complex, since it

requires nodes discovery, network establishment, routing, and so on. Furthermore, considering the variability of the wireless medium, the connectivity of the network can vary in time, making the multi-hop packet delivery even more challenging, and increasing the energy consumption of the nodes.

Among the most popular technologies of this class, we can mention Bluetooth, particularly in its Low Energy version (BLE), ZigBee, Z-Wave, IEEE 802.15.4, and others.

3.2.2 Cellular

Contrarily to the short-range multi-hop class, cellular technologies offer very large coverage ranges with single-hop communication between peripheral nodes and gateway (which is called Base Station, or eNB, in the cellular system terminology). Furthermore, the cellular networks of the main operators offer almost ubiquitous coverage without the need to deploy new infrastructure.

On the other hand, the cost of cellular radio transceivers is still significantly high for MTC applications due to its energy consumption. The most common cellular technologies that are used today for MTC are GSM (in particular, GPRS) and LTE-A. However, both systems have been designed to support broadband data transmissions characterized by few devices per cell that generate significant data traffic. MTC has almost dual characteristics, since it is typically generated by a massive amount of devices densely deployed in the coverage range of a cell, each of which generates a tiny amount of traffic (on the order of packets per minute or less). Therefore, traditional cellular technologies can be unsuitable to support MTC, which is affected by the so-called Massive Access Problem (Biral et al., 2015; Polese, Centenaro, Zanella, & Zorzi, 2016; Zanella et al., 2013).

Recently, the 3GPP standards organization released the specifications for the long-awaited Narrow Band IoT (NB-IoT), an amendment to the LTE standard that has explicitly been designed to support MTC, and that greatly alleviates the massive access problem. Although the standard promises very low energy consumption and good bitrates, some preliminary studies reveal that the power consumption and the cost of the devices can still be too high for some applications, thus limiting the range of applicability of this technology (Sinha, Wei, & Hwang, 2017).

3.2.3 Low Power Wide Area Networks (LPWAN)

The design of this family of technologies has been explicitly targeted to MTC. These systems are indeed characterized by an extremely long coverage range (from few kilometers in urban areas to tens of kilometers in rural areas) and a very low power consumption. Such nice features have been obtained by compromising the bitrate, which is usually very low (on the order

of hundreds of bit/s), and the delay, which is instead quite long (on the order of seconds). However, many services that require MTC do not have strict requirements in terms of bitrate and delay, and can therefore fruitfully adopt LPWAN solutions.

Although there has been a proliferation of LPWAN technologies in the last years (Centenaro, Vangelista, Zanella, & Zorzi, 2016), today the most popular ones are SigFox and LoRaWAN. SigFox adopts a cellular-like business paradigm, where the infrastructures (gateways) are deployed by the SigFox providers, and the customers just buy the service, i.e., the connectivity and data collection from their end devices. LoRaWAN, instead, offers the possibility to build and manage private networks by buying end devices, gateways, and management software (NetServer), which can run in any node connected to the gateways through standard IP technologies. Both these protocols offer low bitrates in uplink, though LoRaWAN can also support a certain downlink traffic (Capuzzo, Magrin, & Zanella, 2018a), while SigFox is rather limited in this respect. Furthermore, LoRaWAN also allows for confirmed traffic (i.e., end devices may require the NetServer to acknowledge the reception of uplink packets), despite enabling this mechanism may yield to performance reduction (Capuzzo, Magrin, & Zanella, 2018b).

We can see that the different classes of MTC technologies possess rather complementary characteristics, as shown in the spider graph of Fig. 3. Therefore, it is likely that all of them will find an application in the smart city scenarios, depending on the specific application to be supported. The harmonization will then occur at a higher protocol layer, likely the IP layer, thanks to the data-sharing protocols described below.

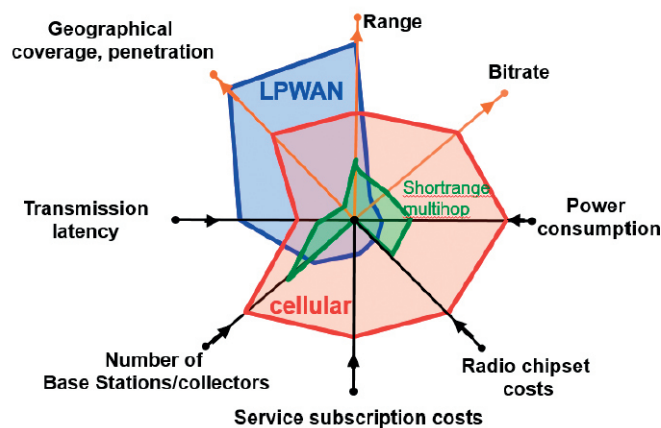


Figure 3. Comparison among MTC wireless technologies
Elaborated by the author

3.3 Sharing data

As mentioned before, the most popular approach to collect data from the peripheral nodes is by means of proxy devices (i.e., gateways) that have the role of bridging sensor nodes and Internet nodes, enabling two-way communications. Typically, gateways can receive commands from control stations or servers located somewhere in the Internet, and forward them to the peripheral nodes using the MTC technology employed in that specific system. Analogously, the gateways make the data generated by the node accessible from external (authorized) nodes.

This second functionality can be provided through different approaches, the most common of which are the request-response and publish-subscribe approaches described below (Pielli, Zucchetto, Zanella, Vangelista, & Zorzi, 2015).

3.3.1 Request-response

This approach is commonly used to access Internet resources, such as web pages, files, or others: The client sends a request for a specific resource to the server, which replies by sending back the requested element to the client, if available, or an error message if the resource is not available at the server. Each resource is hence uniquely identifiable by means of a Universal Resource Locator (URL), and the clients can use a Hyper Text Transfer Protocol (HTTP) to retrieve the data of interest. This approach requires that the gateways (or end devices) support an HTTP server. Typically, the sensor nodes are not sufficiently powerful to run a full-fledged HTTP server (or, better, a full TCP/IP protocol stack). To overcome this problem, the Internet Engineering Task Force (IETF) has designed the 6LowPAN protocol stack, a light version of the TCP/IP protocol stack that can be more easily implemented in low-end devices. The gateway, then, needs to support both the standard TCP/IP and the 6LowPAN protocol stacks, operating the translation between the two domains. In particular, the LowPAN stack includes the Constrained Application Protocol (CoAP), which is a light version of HTTP that allows for a very simple and direct mapping of the HTTP commands into the CoAP commands and vice versa. The use of this approach greatly simplifies the design of the end services that can be developed by following the standard programming practice used for any Internet application. On the other hand, the request/response paradigm is not ideal for reading dynamic data, since the request may not be synchronized with the actual availability of the data, thus possibly resulting in a waste of transmission resources and energy.

3.3.2 Publish-subscribe

This paradigm somehow mimics an exchange market, where a broker collects data from the producers and then dispatches it to the consumers depending on their specific requests. Consider, for example, an application that wants to check the temperature in a classroom.

Rather than sending a periodic request to each sensor node in the classroom to retrieve the last temperature reading as in the previous approach, with the publish-subscribe approach the sensor nodes publish (i.e., report) their new readings to a broker, which is a software module typically running in the gateway, while the consumer subscribes to this type of information at the broker. Whenever a new temperature value is published by a sensor node, the broker will send the data to all the consumers that have subscribed to said service. The most popular protocol that implements this paradigm is the Message Queue Telemetry Transport (MQTT), which is lightweight and simple. This approach is very efficient, since the communication occurs only when the data is actually available. However, the applications need to be designed by following a paradigm different from the standard Representational State Transfer (REST) approach used by most web applications. Today, however, there are a number of freely available MQTT brokers (e.g., Eclipse Mosquito) and several web services that can read data from MQTT brokers and display the values in dynamic web pages (see, e.g., <https://thingspeak.com/> or <http://www.sentilo.io>).

3.4 Extracting information

The technologies described so far make it possible to collect a large amount of data in a simple and effective way. Such data, however, is rarely usable in its raw form and needs to be processed in order to extract useful information: a problem known in the literature as “Big Data.”

There are many and variegated data analytic methodologies, ranging from very basic statistical analyses to determine the empirical mean, standard deviation, and probability distribution of the measured signal, to complex deep learning algorithms to find correlations among the most disparate types of measurements. It is interesting to mention that some useful information can be obtained even from a rather simple analysis. For example, in Cenedese et al. (2014) and Zanella, Bui, Castellani, Vangelista, & Zorzi (2014), it is shown how malfunctioning street lights can be easily identified by simply comparing the standard deviation of the values read by the light sensors applied to the different light poles during nighttime. More advanced techniques can be used to extract interesting correlations among different signals and build advanced services (Piovesan, Turi, Toigo, Martinez, & Rossi, 2016).

3.5 Building services

The last step consists in making use of the information extracted from the data to provide useful services to the citizens and the city administration. Such services are generally realized by using standard web programming frameworks but without a well-defined and globally-accepted reference model. This approach makes it rather complicated for a city to replicate the services of another smart city, which will likely differ in terms of required infrastructure, data access protocol, and so on. Furthermore, the exchange of data among services realized by different cities is also very difficult. This important roadblock has been recently recognized by

a number of cities in the world, including Amsterdam, Dubai, Dublin, and Barcelona, with the latter being considered one of the top most advanced smart cities in the world according to several recent surveys. These cities decided to team up in the so-called City Protocol Society, whose aim is to define a common system view for cities, and identify or generate protocols that will help the development of such a view. The declared goal of the City Protocol Society is hence to break the boundaries of silo solutions and interconnect the different cities into an “Internet of Cities”⁶.

However, other similar initiatives are being undertaken by other groups so that, once again, the risk is the proliferation of multiple, incompatible models.

4. RESEARCH CHALLENGES

The way to the realization of the Smart City concept is littered by a number of roadblocks that, in turn, generate a series of research challenges. In this section, we outline some of the most interesting points that require further research.

4.1 Access technologies

As seen before, there is a plethora of wireless transmission technologies that can be used to collect data from the peripheral nodes, each with different characteristics. However, it is not clear which technology can suit best the different requirements of smart services. Furthermore, there is still ample space for the optimization of the transmission protocols in order to reduce the energy consumption while maintaining the desired accuracy in the data collection (Biason, Pielli, Zanella, & Zorzi, 2018; Zucchetto, Pielli, Zanella, & Zorzi, 2018).

4.2 Open data

Another challenge to come up with is the common representation of the data, in order to enable the development of a standardized approach for its processing and ease the development of new applications. Furthermore, it would be essential to open the data as much as possible to involve the citizens, and foster the development of new ideas and findings. Unfortunately, the publication of data is hindered by a number of practical obstacles, including anonymity and privacy issues and, more importantly, the increasing awareness of the inner (economical) value of the data, which make it an important asset for its owners.

⁶ <http://ityprotocol.org>

4.3 Data analysis

Another open area of research is related to the processing of such data. As mentioned before, a lot of information can be obtained even using basic analytic tools. However, such methodologies only scratch the surface of what can possibly be done by applying advanced data analysis tools to the variety of data that can be collected by the different services of a smart city. Therefore, a lot remains to be done in this domain.

4.4 Security and safety

Security, privacy, and related issues are clearly fundamental to protect the sensitive information gathered and exchanged by the smart city services from its disclosure to non-authorized parties, and to shield the system against malicious attacks. On the other hand, the strong limitations on the cost of the devices and, therefore, on their hardware and software capabilities have contributed to relegating their security to a subsidiary role in the design of many IoT commercial products. This topic has gained increasing attention due to the growing awareness of the risks of entrusting simple IoT devices with sensitive information (Almuhimedi et al., 2015) or critical controls (e.g., building accesses, traffic lights, and so on) (Misbahuddin et al., 2015).

However, the vulnerability surface of a smart city is extremely wide, with aspects that differ from the standard Internet security. For example, the fact that sensors placed in public areas can be physically accessible to attackers, the limited capacities of such devices, the possibility of inferring the wealth of private information from the data collected by public sensors (e.g., road cameras), and also the possibility of injecting malicious signals into the system (e.g., triggering alarms or other type of reactions) make the security problem in IoT and smart city contexts unique and even more challenging than in standard Internet scenarios.

4.5 Digital divide and social isolation

Another aspect that needs to be accounted for is the risk of increasing the digital divide and, consequently, the social isolation of the citizens that are less acquainted with modern technologies. To mitigate this risk, aspects regarding acceptability and user friendliness should be part of the design process, which should be jointly carried out by engineers, psychologists, and sociologists.

5. CONCLUSIONS: THE KEY TO SMARTNESS

From the quick overview of the possible services that can be realized in a smart city, it is apparent that the key to smartness is integration in its widest meaning. The potential of the smart city services, indeed, can be fully unleashed only by leveraging the uncountable synergies among

the different services that can be released only by adopting an integrated, systemic and holistic design of the urban system, which takes into account people, processes, and technologies.

Unfortunately, the complexity of such a design effort is likely beyond the capabilities of our modern society, and the most common approach today is a sort of best effort that targets the realization of subsets of low-hanging smart services, often without a clear long-term development plan. The risk of such an approach is the proliferation of a number of isolated, non-interoperable and non-replicable services, which would still represent an improvement over the current urban scenarios, but will eventually fail to fulfill the Smart City vision in all its potential.

The integration concept can actually be pushed forward by thinking of a symbiotic system in which not only the information and communication technologies are used to build new services, but these very same services are used to improve the performance of the communication infrastructure. This concept, which we dubbed “SymbioCity”, has been exemplified in Chiariotti, Condoluci, Mahmoodi, & Zanella (2018) and Dalla Cia et al. (2018), where it is shown that, by exploiting the data collected by the road traffic monitoring service, it is possible to optimize the configuration of the cellular system, thus providing a better service to the citizens.

In conclusion, despite the several and interesting initiatives that are being undertaken by different cities in the world, the Smart City concept remains so far an ambitious vision (and, perhaps, a bit of a utopia). The full realization of such a vision requires the solution of a number of challenges, which must be addressed by adopting a multidisciplinary approach that merges engineering, psychology, and sociology. Finally, fundamental is the full support of the public administration and the deep involvement of the citizens in the whole process.

REFERENCES

- Almuhimedi, H., Schaub, F., Sadeh, N., Adjerid, I., Acquisti, A., Gluck, J., ... & Agarwal, Y. (2015). Your location has been shared 5,398 times!: A field study on mobile app privacy nudging. In *Proceedings of the 33rd annual ACM conference on human factors in computing systems* (pp. 787-796). ACM. DOI:10.1145/2702123.2702210
- Biason, A., Pielli, C., Rossi, M., Zanella, A., Zordan, D., Kelly, M., & Zorzi, M. (2017). EC-CENTRIC: an energy-and context-centric perspective on IoT systems and protocol design. *IEEE Access*, 5, 6894-6908. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2692522
- Biason, A., Pielli, C., Zanella, A., & Zorzi, M. (2018). Access control for IoT nodes with energy and fidelity constraints. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 17(5), 3242-3257. DOI: 10.1109/TWC.2018.2808520

- Biral, A., Centenaro, M., Zanella, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2015). The challenges of M2M massive access in wireless cellular networks. *Digital Communications and Networks*, 1(1), 1-19. DOI: 10.1016/j.dcan.2015.02.001
- Capuzzo, M., Magrin, D., & Zanella, A. (2018a). Mathematical Modeling of LoRaWAN Performance with Bi-directional Traffic. In *Proceedings of IEEE Globecom2018 SAC EH, Abu Dhabi, UAE, December 9-13*.
- Capuzzo, M., Magrin, D., & Zanella, A. (2018b). Confirmed traffic in LoRaWAN: Pitfalls and countermeasures. In *Proceedings of 17th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net 2018)* (pp. 1-7). IEEE. DOI: 10.23919/MedHocNet.2018.8407095
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*, 18, 65-82. DOI: 10.1080/10630732.2011.601117
- Cenedese, A., Zanella, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Padova smart city: An urban internet of things experimentation. In *Proceedings of IEEE 15th International Symposium World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM, 2014)* (pp.1-6). DOI: 10.1109/WoWMoM.2014.6918931
- Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 60-67. DOI: 10.1109/MWC.2016.7721743
- Chiariotti, F., Condoluci, M., Mahmoodi, T., & Zanella, A. (2018). SymbioCity: Smart cities for smarter networks. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 29(1), 1-16. DOI: 10.1002/ett.3206
- Chiariotti, F., Pielli, C., Zanella, A., & Zorzi, M. (2018). A dynamic approach to rebalancing bike-sharing systems. *Sensors*, 18(2), 512. DOI: 10.3390/s18020512
- Dalla Cia, M., Mason, F., Peron, D., Chiariotti, F., Polese, M., Mahmoodi, T., ... & Zanella, A. (2018). Using smart city data in 5g self-organizing networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2), 645-654. DOI: 10.1109/JIOT.2017.2752761
- Daniel, S., & Doran, M. A. (2013). geoSmartCity: geomatics contribution to the smart city. In *Proceedings of the ACM 14th annual international conference on digital government research* (pp. 65-71). DOI: 10.1145/2479724.2479738
- Erseghe, T., Zanella, A., & Codemo, C. (2014). Optimal and compact control policies for energy storage units with single and multiple batteries. *IEEE Transactions on Smart Grids*, 5(3), 1308-1317. DOI: 10.1109/TSG.2014.2303824

- Gascó-Hernandez, Mila (2018). Building a smart city: Lessons from Barcelona. *Commun, ACM*, 61, 50-57. DOI: 10.1145/3117800
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., & Meijers, E. (2007). *Smart cities: Ranking of European medium-sized cities*. Vienna: Centre of regional science. Retrieved from http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf
- Hall, R. E., Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & Von Wimmersperg, U. (2000). *The vision of a smart city* (No. BNL-67902; 04042). New York: Brookhaven National Lab.
- Lombardi, P., Giordano, S., Farouh, H., & Yousef, W. (2012). Modelling the smart city performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25, 137-149. DOI: 10.1080/13511610.2012.660325
- Misbahuddin, S., Zubairi, J. A., Saggaf, A., Basuni, J., Sulaiman, A., & Al-Sofi, A. (2015). IoT based dynamic road traffic management for smart cities. In *Proceedings of 12th International Conference on High-Capacity Optical Networks and Enabling/Emerging Technologies (HONET 2015)* (pp. 1-5). IEEE. DOI: 10.1109/HONET.2015.7395434
- National Energy Technology Laboratory. (2007). *The NETL modern grid initiative: Powering our 21st-century economy*. U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Retrieved from https://www.smartgrid.gov/document/netl_modern_grid_strategy_powering_our_21st_century_economy_advanced_metering_infrastructur
- Pielli, C., Zucchetto, D., Zanella, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2015). Platforms and Protocols for the Internet of Things. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 15(1), 10.
- Piovesan, N., Turi, L., Toigo, E., Martinez, B., & Rossi, M. (2016). Data analytics for smart parking applications. *Sensors*, 16(10), 1575. DOI:10.3390/s16101575
- Polese, M., Centenaro, M., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). M2M massive access in LTE: RACH performance evaluation in a smart city scenario. In *Proceedings of Communications (ICC), 2016 IEEE International Conference* (pp. 1-6). DOI: 10.1109/ICC.2016.7511430
- Pratt, R.G., Kintner-Meyer, M.C.W., Balducci, P.J., Sanquist, T.F., Gerkenmeyer, C. Schneider, K.P., Katipamula, S., & Secrest, T.J. (2010). *The smart grid: An estimation of the energy and CO2 benefits*. Washington: Pacific Northwest National Laboratory. Retrieved from https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-19112.pdf
- Sinha, R. S., Wei, Y., & Hwang, S. H. (2017). A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *Ict Express*, 3(1), 14-21. Elsevier. DOI: 10.1016/j.ict.2017.03.004

- Toppeta, D. (2010). *The smart city vision: How innovation and ICT can build smart, livable, sustainable cities*. The Innovation Knowledge Foundation. Retrieved from https://inta-aivn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/Toppeta_Report_005_2010.pdf
- Webb, M. (2008). *Smart 2020: Enabling the low carbon economy in the information age*. London: The Climate Group.
- Zanella, A., Zorzi, M., Dos Santos, A. F., Popovski, P., Pratas, N., Stefanovic, C., ... & Norp, T. A. (2013). M2M massive wireless access: challenges, research issues, and ways forward. In *Proceedings of Globecom Workshops 2013* (pp. 151-156). IEEE. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2013.6824978
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1), 22-32. DOI: 10.1109/JIOT.2014.2306328
- Zucchetto, D., Pielli, C., Zanella, A., & Zorzi, M. A. (2018a). Random access in the IoT: An Adaptive Sampling and Transmission Strategy. In *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 1-6). DOI: 10.1109/ICC.2018.8422172
- Zucchetto, D., Pielli, C., Zanella, A., & Zorzi, M. A. (2018b). A random access scheme to balance energy efficiency and accuracy in monitoring. In *Proceedings of Information Theory and Applications Workshop, San Diego, USA* (pp. 1-6). Retrieved from http://ita.ucsd.edu/workshop/18/files/paper/paper_1319.pdf

PONENCIAS

Implementación de un servicio de monitoreo y control de jardines en un municipio de Lima mediante el uso de Internet de las Cosas

Jorge Guerra Guerra

jguerrag@unmsm.edu.pe / Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú

Yessenia Lunarejo Gonzales

yessenia.lunarejo@unmsm.edu.pe / Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú

Armando Fermín Pérez

fferminp@unmsm.edu.pe / Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú

Recepción: 1-7-2018 / Aceptación: 20-8-2018

RESUMEN. El presente trabajo muestra la implementación de un sistema de monitoreo basado en tecnología Open Hardware, destinado a la gestión de jardines de un municipio de la capital peruana, usando red móvil y sensores para el manejo apropiado del agua con datos en tiempo real.

PALABRAS CLAVE: monitoreo ambiental, Internet de las Cosas, gestión de jardines

Implementation of a monitoring and control service for the gardens of a municipality in Lima using the Internet of Things

ABSTRACT. The following goes over the implementation of a monitoring system using Open Hardware. The latter will be set up at a public garden in Lima, using sensors and the local mobile network, for municipal water management and distribution (metering) in real time.

KEYWORDS: environmental monitoring, Internet of Things, garden management

1. INTRODUCCIÓN

El problema del uso de agua en parques públicos es un tema recurrente en trabajos tanto de organizaciones que abordan temas de medio ambiente como en la industria en general. Así por ejemplo, en Thamaraimanalan, Vivekk, Satheeshkumar y Saravanan (2018) se detalla la implementación de un sistema automático de monitoreo de plantas y control de riego de jardines públicos para mejorar la calidad de vida de la población. Sandhya, Pallavi y Chandrashekar (2017) proponen algo similar a nivel de jardines de las casas utilizando diversas tecnologías de comunicación como wifi, redes móviles y la nube.

El problema en estudio en este artículo se registra en la municipalidad distrital de San Isidro, que tiene acceso a la distribución del agua del río Surco, donde, luego de un proceso de decantación, puede ser usada en el riego de áreas verdes. Sin embargo, esta cantidad de agua no cubre la totalidad de la demanda de riego de las áreas verdes del distrito, por lo que debe cubrirse con agua potable, resultando así en un incremento en los gastos de mantenimiento de las áreas verdes.

Son dos los métodos empleados para el riego de áreas verdes en el distrito: inundación (25 parques) y tecnificado mediante aspersores (14 parques). Los criterios para regar los parques en general se basan en el procedimiento de evapotranspiración, según lo indica el Área de Sostenibilidad de la Municipalidad. Con base en ello se estableció un horario de riego para todo el distrito: lunes de 6:00 a 18:00 horas y jueves de 18:00 a 6:00 horas. Sin embargo, se riega con procedimientos y criterios más intuitivos que formales debido a la deficiente o nula capacitación e información técnica disponible; de allí la necesidad de contar con una solución tecnológica que cubra la gestión y control de los jardines para manejar de manera eficiente el uso del agua destinada a esta tarea.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección 2 se presenta una propuesta de implementación; en la sección 3 se muestran los resultados preliminares, mientras que en la sección 4 se describen las conclusiones y futuros trabajos.

2. METODOLOGÍA

La gestión del riego de los parques públicos del caso en estudio enfrenta dos retos: uno es el uso deficiente del agua, ya que no se cuenta con datos concretos para conocer si varios de los parques regados por inundación están siendo sobrerregados o regados cuando no es necesario, y otro es el incremento en los costos de mantenimiento de las áreas verdes debido a un mayor uso de agua potable. Para este problema se han desarrollado soluciones basadas en Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) como la propuesta por Bermúdez (2014), que plantea una solución de riego automatizada usando Arduino, o la propuesta por

Angelopoulos, Nikolettseas y Theofanopoulos (2011) usando comunicación XBEE, lo que permite transferir los datos a un centro de información para su posterior procesamiento.

Las soluciones tecnológicas basadas en redes inalámbricas cuentan con herramientas apropiadas como la indicada por Khan, Islam y Hafeez (2011), que muestran un modelo para pronóstico de la demanda de agua para riego mejorado por los mismos autores (2012), donde muestran alternativas basadas en modelos estadísticos y de inteligencia artificial; debe indicarse, además, el trabajo de Karray *et al.* (2016), que define una red de sensores para el monitoreo de agua que circula por las tuberías. Las condiciones planteadas para la gestión de jardines de la municipalidad de San Isidro son las siguientes, estableciendo el control del estado del suelo:

- i. Capacidad de campo: definiendo los distintos tipos de suelo en los parques, poner sensores que puedan medir las variables que impactan la capacidad del suelo para cada parque, y así evaluar cuál es la necesidad de riego de cada parque. La cantidad de sensores dependería de la cantidad de zonas y parques con distintos suelos.
- ii. Medición de evapotranspiración (ET_o): esta permitiría saber cuánto varía la humedad del suelo para así determinar qué parques han perdido más humedad o cuáles necesitan mayor recuperación de humedad. Esto se puede hacer por zonas.
- iii. Medición del clima: tener estaciones climáticas tanto (de preferencia) en la parte alta como en la parte baja para medir viento (velocidad y dirección), horas de sol, humedad, temperatura, ET_o; es decir, condiciones climáticas para los cultivos (se realizará en fase II).
- iv. Se plantea como solución obtener los valores de las siguientes mediciones, al inicio:
 - ET_o.
 - Variación de la humedad del suelo.
 - Humedad relativa.
 - Temperatura.

Considerando la tecnología a utilizar (preferentemente Open Hardware) y usando tecnología inalámbrica y procesamiento en nube, y Edge Computing; el modelo planteado sería como muestra la figura 1.



Figura 1. Modelo general de gestión de riego usando IoT
Elaboración propia

Para esta implementación se está desarrollando la configuración de nodos de sensores para los jardines asignados que muestra la figura 2.

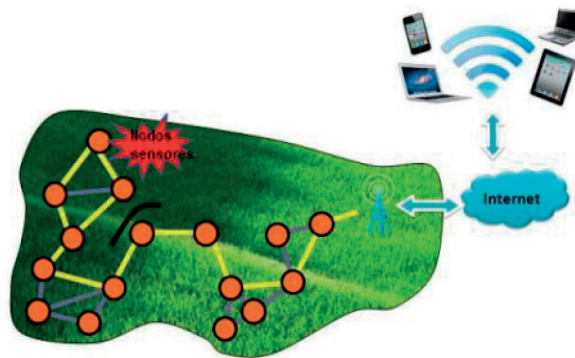


Figura 2. Distribución de sensores en jardines de San Isidro usando red inalámbrica
Elaboración propia

El número de sensores por jardín depende de la extensión que tengan. En los trabajos previos se ha determinado de que cada nodo cubrirá un área aproximada de 250 m², ajustándose de acuerdo al tipo de terreno y vegetación. La implementación de dichos nodos, considerados en esta propuesta, será realizada de acuerdo al modelo de la figura 3.

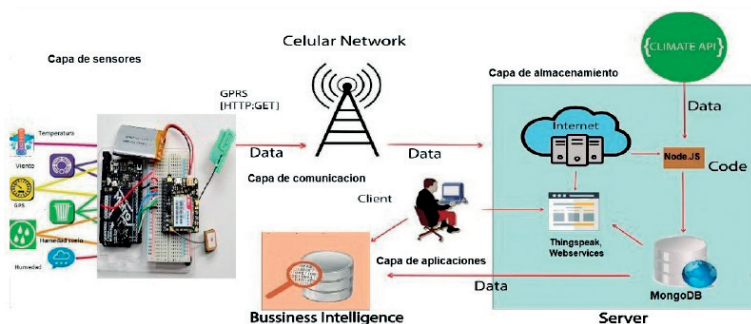


Figura 3. Modelo de nodo conectado a red inalámbrica

Elaboración propia

En la implementación de la solución comparamos dos modelos posibles de desarrollo.

2.1 Implementación basada en comunicación wifi

Esta implementación considera el uso de wifi donde esté disponible, usando para ello el módulo ThingDev, basado en esp8266. El diagrama de implementación obtenido se muestra en la figura 4.

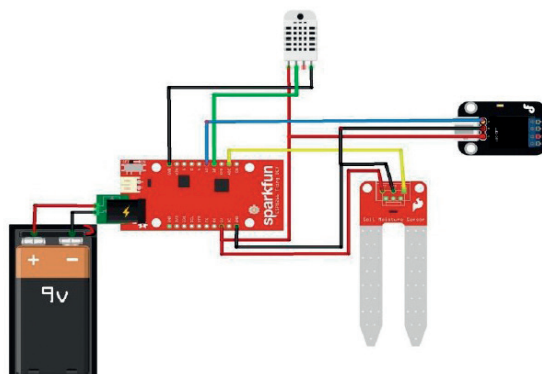


Figura 4. Propuesta de solución usando conexión wifi

Elaboración propia

La nube que registra los datos obtenidos por el modelo implementado es Thingspeak (<https://thingspeak.com/login>), para la cual se implementaron dos canales: datos obtenidos por el modelo wifi (<https://thingspeak.com/channels/529660>) y datos obtenidos por el modelo GSM (<https://thingspeak.com/channels/529617>).

Durante las pruebas de conexión usando la nube de Thingspeak se obtuvieron los valores de medición para la propuesta basada en wifi de la figura 5.

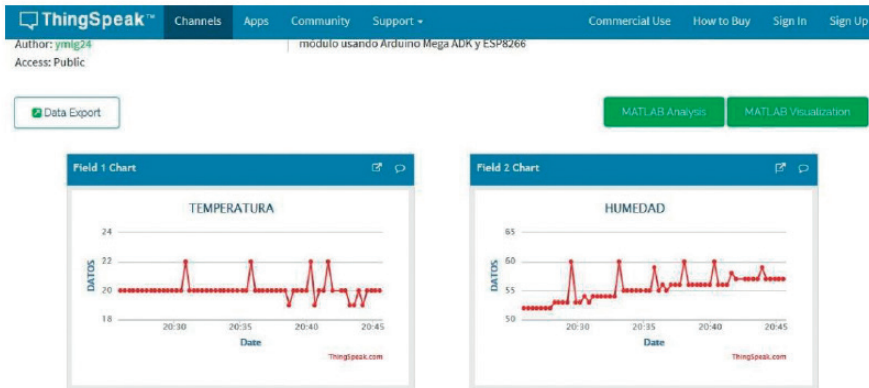


Figura 5. Canal implementado en Thingspeak, mostrando los datos obtenidos por ThingDev
Elaboración propia

2.2 Implementación basada en comunicación GSM

En esta propuesta la comunicación de los nodos definidos con la nube donde se almacenarán los datos será mediante la red móvil disponible en la ciudad de Lima. En esta implementación el desarrollo se realizó mediante el uso del módulo Adafruit Feather 32u4, que trabaja como mínimo en 2G y, basado en ello, el modelo propuesto está definido en la figura 6.

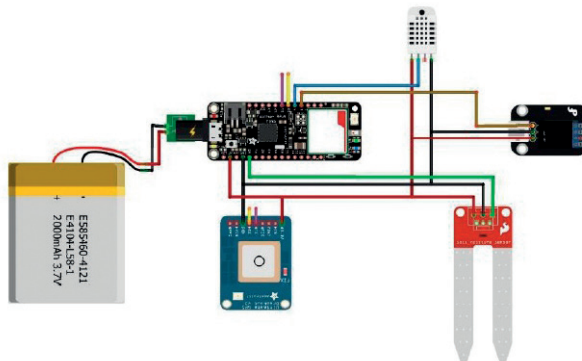


Figura 6. Propuesta de solución usando conexión con red GSM
Elaboración propia

Para esta implementación, teniendo como base la nube de sensores Thingspeak, obtenemos las mediciones que se muestran en la figura 7.

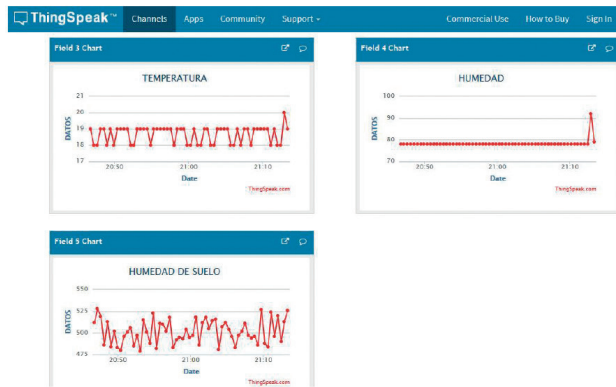


Figura 7. Mediciones de datos para el modelo usando GSM
Elaboración propia

3. RESULTADOS

Una vez implementados los dos modelos, se recolectan los datos encontrados y con ellos se define una tabla, en este caso con ThingDev (tabla 1).

Tabla 1

Datos obtenidos por el modelo basado en ThingDev (Thingspeak, fragmento)

Fecha	Hora (UTC)	ID	Temperatura Grados centígrados	Humedad %	Humedad de suelo L/m ²
1/7/2018	0:59:25	1	21	38	438
1/7/2018	0:59:45	2	21	38	471
1/7/2018	1:00:05	3	23	44	508
1/7/2018	1:00:26	4	21	39	524
1/7/2018	1:00:47	5	21	39	497
1/7/2018	1:01:10	6	21	39	510
1/7/2018	1:01:28	7	21	39	494
1/7/2018	1:01:46	8	21	40	509

(continúa)

(continuación)

1/7/2018	1:02:07	9	21	40	510
1/7/2018	1:02:25	10	21	40	527
1/7/2018	1:02:46	11	21	40	504
1/7/2018	1:03:05	12	21	41	518
1/7/2018	1:03:25	13	21	45	494
1/7/2018	1:03:45	14	21	41	501
1/7/2018	1:04:04	15	21	42	494

Elaboración propia

Tabla 2

Datos obtenidos con el módulo FONa usando red GSM (Thingspeak, fragmento)

FECHA	HORA (UTC)	ID	Temperatura Grados celsius	Humedad %	Humedad del suelo L/m ²
1/07/2018	0:59:10	1	20	71	517
1/07/2018	0:59:40	2	20	71	503
1/07/2018	1:00:21	3	20	71	511
1/07/2018	1:00:50	4	20	71	512
1/07/2018	1:01:16	5	20	73	482
1/07/2018	1:01:43	6	19	72	503
1/07/2018	1:02:10	7	21	74	512
1/07/2018	1:02:36	8	21	75	491
1/07/2018	1:03:03	9	20	74	505
1/07/2018	1:03:30	10	21	74	485
1/07/2018	1:03:57	11	21	75	493
1/07/2018	1:04:24	12	19	75	521
1/07/2018	1:04:50	13	20	87	496
1/07/2018	1:05:17	14	20	75	483
1/07/2018	1:05:44	15	21	80	504

Elaboración propia

Con estos datos se pueden determinar dos cosas importantes: los datos (salvo en el caso de la humedad relativa) son básicamente similares, las diferencias en el caso de la humedad se deben a que un módulo está usando un sensor DHT22 mientras el otro módulo posee un

sensor DHT11, menos preciso que el anterior. El segundo resultado que puede obtenerse es que ambos módulos pueden ser una alternativa viable y de bajo costo en una localidad donde exista wifi público, como son los distritos de San Isidro, Miraflores, Surco y otros. Sin embargo, al generalizar el modelo y tratar de aplicar este prototipo a Lima en su conjunto, la única alternativa viable es la de usar red GSM, que se encuentra extendida en todo el país, dado que una alternativa basada en fibra óptica es de un precio muy elevado y las redes LPWAN todavía están en estado de construcción y despliegue.

4. CONCLUSIONES

El presente proyecto, que se encuentra en implementación, permite obtener datos en tiempo real de los nodos de gestión de jardines para su posterior envío a repositorio mediante nube pública. Se muestra además que el uso de red wifi o red móvil es indistinto. Sin embargo, para un escalamiento de la solución a nivel de toda la ciudad de Lima, la red móvil es claramente el medio apropiado para la comunicación de los sensores con el repositorio en la nube, apuntando en el futuro a ser energizado mediante paneles solares, como lo indican Difallah, Benahmed, Draoui y Bounaama (2018).

En un futuro trabajo se establecerá un repositorio de datos en la Plataforma de Interoperabilidad del Estado (PIDE), como lo está haciendo actualmente el equipo que está trabajando esta propuesta en otros proyectos. Una vez almacenada la información en base de datos NoSQL (MongoDb) se realizará el procesamiento usando técnicas de *big data* o *analytics*, según sea el caso.

REFERENCIAS

- Angelopoulos, C. M., Nikoletseas, S., y Theofanopoulos, G. C. (2011). A smart system for garden watering using wireless sensor networks. En: *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobility management and wireless access* (pp. 167-170). ACM. DOI: 10.1145/2069131.2069162
- Bermúdez, D. (2014). *Riego de huerta automatizado por Arduino*. Tesis para optar el título de ingeniero técnico industrial eléctrico. Universidad Pública de Navarra, España.
- Difallah, W., Benahmed, K., Draoui, B., y Bounaama, F. (2018). Design of a solar powered smart irrigation system (SPSIS) using WSN as an IoT device. En: *Proceedings of the 2018 International Conference on Software Engineering and Information Management* (pp. 124-128). ACM. DOI: 10.1145/3178461.3178482

- Karray, F., Garcia-Ortiz A., Jmal, M.W., Obeid, A.M., y Mohamed A. (2016). EARNPIPE: A Testbed for Smart Water Pipeline Monitoring Using Wireless Sensor Network. *Procedia Computer Science*, 96, 285-294.
- Khan, M. A., Islam, M. Z., y Hafeez, M. (2012). Evaluating the performance of several data mining methods for predicting irrigation water requirement. En: *Proceedings of the Tenth Australasian Data Mining Conference-Volume 134* (pp. 199-207).
- Khan, M. A., Islam, Z., y Hafeez, M. (2011). Irrigation water demand forecasting: a data pre-processing and data mining approach based on spatio-temporal data. En: *Proceedings of the Ninth Australasian Data Mining Conference, Volume 121* (pp. 183-194).
- Sandhya, B.R., Pallavi, M., y Chandrashekar, M. (2017). IoT Based smart home garden watering system using Raspberry Pi 3. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(12).
- Thamaraimanalan, T., Vivekk, S. P., Satheeshkumar, G., y Saravanan, P. (2018). Smart Garden Monitoring System Using IOT. *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*, 2(2), 186-192.

Adaptación y comparación de dos metodologías de reconocimiento facial aplicadas a la detección de somnolencia en conductores

Johanna Gorvenia
jgorvenia@hotmail.com / Universidad de Lima. Lima, Perú

Fernando Tello
feranto31@hotmail.com / Universidad de Lima. Lima, Perú

Recepción: 31-5-2018 / Aceptación: 17-8-201

RESUMEN. Este artículo busca comparar dos metodologías de reconocimiento de expresiones faciales: Viola-Jones y Regression Based Facial Landmark Detection, adaptados para la detección de somnolencia, dando a conocer cuál de ellas es la más óptima y se adecúa mejor a las condiciones variables, considerando las restricciones de oclusión, rotación de rostro, iluminación. Tras un análisis cuantitativo bajo la matriz de confusión y poniendo a prueba las metodologías propuestas en diferentes situaciones, se realizó una comparación con los resultados obtenidos. Ocurren diferentes efectos por la falta de sueño como la disminución del tiempo de reacción, cansancio ocular, la visión se torna borrosa, menor concentración, etcétera; influyendo de manera directa en el incremento de accidentes de tráfico.

PALABRAS CLAVE: detección de somnolencia, reconocimiento facial, accidentes de tráfico, tasa de efectividad, tasa de reconocimiento, Viola-Jones, Regression Based Facial Landmark Detection, EAR

Adaptation and comparison of two facial recognition methods for driver drowsiness detection

ABSTRACT. This article seeks to make a comparison between two facial recognition methodologies: Viola-Jones and Regression Based Facial Landmark Detection and find the one that performs better in the face of different variable problems such as changing illumination, occlusion, face rotation, among others. The methodology that has a better rate of effectiveness for the detection of facial expressions is sought. Two facial detection methodologies will be adapted for the detection of drowsiness in drivers. After an analysis of advantages and disadvantages, a comparison of the results obtained will be shown. Different effects occur due to lack of sleep, such as decreased reaction time, eye fatigue, blurred vision, reduced concentration, etc.; These factors directly influence the increase in traffic accidents.

KEYWORDS: drowsiness detection, facial recognition, traffic accidents, effectiveness rate, recognition rate, Viola-Jones, Regression Based Facial Landmark Detection, EAR

1. INTRODUCCIÓN

La somnolencia en los conductores es uno de los factores que influyen en el índice de accidentes automovilísticos, ya que un conductor cansado o que se duerme durante su actividad no puede realizar maniobras evasivas para evitar las colisiones o despistes. Según la Dirección General de Circulación Terrestre del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú, el año pasado se registraron 350 782 sujetos heridos y 32 107 muertos por imprudencia del conductor. Por estas cifras alarmantes de accidentes, no solo en el Perú sino en el mundo, sería necesaria la implementación de un sistema de detección de somnolencia efectivo en los vehículos para minimizar las probabilidades de que los accidentes de este tipo ocurran. En el caso de Lima, la congestión vehicular se agudiza por el número de vehículos que sigue aumentando año tras año, la infraestructura vial está llegando a su máxima capacidad, sobre todo en horas donde hay mayor número de conductores al volante —al final del día, cuando las personas están cansadas—, provocando en ellos estrés, aburrimiento, cansancio y sueño.

Diferentes efectos ocurren por la falta de sueño, como la disminución en el tiempo de reacción, cansancio ocular, la visión se torna borrosa, menor concentración, etcétera. Dichos factores influyen de manera directa en el incremento de accidentes de tráfico. Por ello, la ciudad de Lima es un lugar donde todos los autos deberían incorporar obligatoriamente un sistema de detección de somnolencia para disminuir el riesgo de que suceda algún accidente, por todas las razones propuestas anteriormente.

Existen varias técnicas para el reconocimiento de expresiones faciales, sin embargo, existen problemas en el momento en que se extraen las características faciales, tales como la oclusión, luminosidad, calidad de la imagen, la cercanía o lejanía del rostro, etcétera. Estos problemas entorpecen los resultados del reconocimiento y, por lo tanto, disminuye la tasa de efectividad. El problema radica en que se debe elegir una metodología que pueda superar todos estos problemas, o por lo menos los más importantes, y conseguir un porcentaje de reconocimiento bastante alto para llegar a ser preciso.

La presente investigación se enfocará en estudiar dos metodologías de reconocimiento facial: Viola-Jones y Regression Based Facial Landmark Detection (RBFLD) adaptadas al reconocimiento de somnolencia, y demostrar con cuál de ellas se obtiene una mayor tasa de efectividad.

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología Viola-Jones

Es un marco de trabajo desarrollado por los ingenieros Paul Viola y Michael Jones que utiliza una serie de algoritmos e ideas para una robusta y extremadamente rápida detección visual. El marco consta de tres principales contribuciones: un entrenador de clasificadores basado en el

algoritmo de aprendizaje AdaBoost, un algoritmo para la detección de objetos que utiliza la clasificación en “cascada”, y una nueva representación de la imagen denominada “imagen integral”. Inicialmente, para la detección del objeto se hace uso de la “imagen integral”, que permite que la evaluación de las características sea mucho más rápida; esta imagen se obtiene a través la realización de unas pocas operaciones por pixel que al finalizar permiten que la búsqueda de características en subregiones (de 24 por 24 píxeles), se transforme en una tarea de tiempo constante, sin importar su escala en la subregión o posición de la misma. Una vez obtenida la imagen el algoritmo la divide en subregiones de distintos tamaños y utiliza una serie de clasificadores, cada uno con un conjunto de características visuales, para discriminar si en la imagen se encuentra el objeto o no (Viola y Jones, 2004).

2.1.1 Implementación

La implementación del sistema de detección de somnolencia seguirá el diagrama de la figura 1. El proceso comienza con la captura de imagen *frame* por *frame*, hasta que la entrada deje de transmitirse; se detectará el rostro, a partir de ello se detectarán ojos y boca, y finalmente se enviará una alarma por parte del sistema si es que se detecta somnolencia en los participantes. Para la adaptación de Viola-Jones a la detección de somnolencia en imágenes se usó de base el código fuente proporcionado en el artículo “Facial Features Monitoring for Real Time Drowsiness Detection” (Manu, 2016).

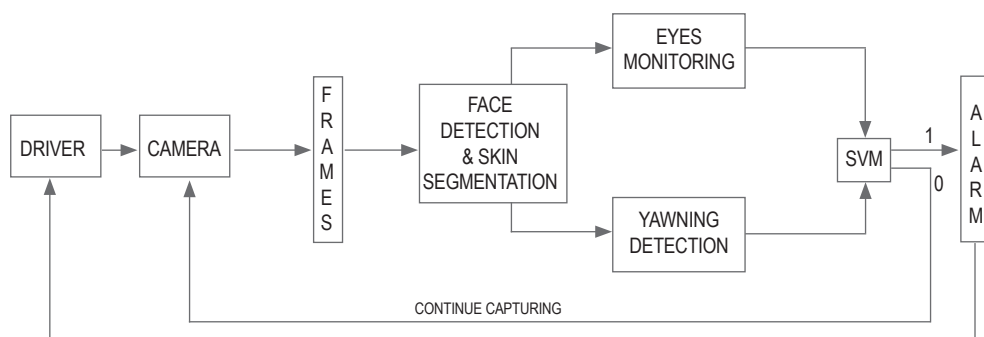


Figura 1. Diagrama de bloques de la implementación del algoritmo Viola Jones

Fuente: Manu, 2016

2.2 Metodología Regression Based Facial Landmark Detection

A cada *frame* del video se le aplicará el algoritmo de HOG para la detección de rostro. Esta técnica cuenta con ocurrencias de orientación de gradiente en porciones localizadas de una imagen. La imagen se divide en pequeñas regiones conectadas llamadas células y para los

pixeles dentro de cada célula se compila un histograma de direcciones de gradiente. La ventaja de este método es que la apariencia y la forma del objeto local dentro una imagen, en este caso *frame*, se puede describir mediante la distribución de gradientes de intensidad o direcciones de borde (Mallick, 2016).

Luego del reconocimiento del rostro, el paso siguiente es detectar los ojos. Para hacer esto posible se utilizan los Facial Landmark Detection, que son un subconjunto de puntos característicos en el rostro. Los puntos faciales más comunes son la punta de la nariz, los bordes de los ojos, el arco de la ceja, los lóbulos de las orejas, la boca, etcétera. En nuestro caso nos limitaremos a nuestras zonas de interés que son las zonas de los ojos, derecho e izquierdo.

Para detectar la somnolencia las partes fundamentales de interés son los ojos, tanto del lado izquierdo como del derecho. Estos están representados por coordenadas en un plano bidimensional tomando como inicio el ojo izquierdo y luego trabajando en sentido horario. Según Soukupová y Cech (2016), existe una relación entre el ancho y la altura de estas coordenadas; a partir de ello se puede derivar una ecuación que refleja esta relación conocida como Eye Aspect Ratio (EAR).

$$EAR = \frac{\|\rho_2 - \rho_6\| + \|\rho_3 - \rho_5\|}{2\|\rho_1 - \rho_4\|}$$

Donde: $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ y ρ_6 son coordenadas del ojo

La implementación del sistema de detección de somnolencia seguirá el diagrama de la figura 2. El proceso comienza con la captura de imagen *frame* por *frame*, hasta que la entrada deje de transmitir; se detectará el rostro, luego se detectarán los ojos y finalmente se enviará una alarma por parte del sistema si es que se detecta somnolencia en los participantes. Para la adaptación de esta metodología para que detecte la somnolencia en imágenes se usó de base el código fuente proporcionado en el artículo “Real-Time Eye Blink Detection Using Facial Landmarks” (Soukupová y Cech, 2016).

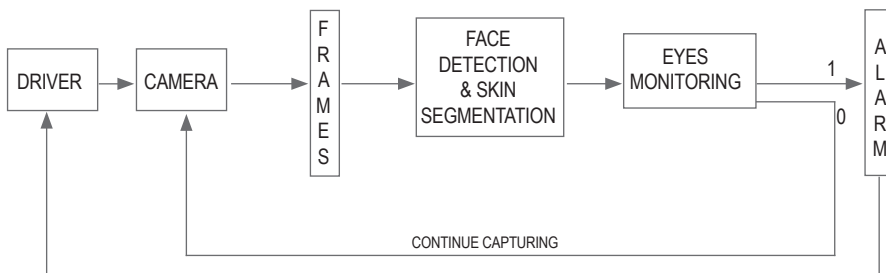


Figura 2. Diagrama de bloques de la implementación del algoritmo Regression Based Facial Landmark Detector
Elaboración propia

3. METODOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Para poder evaluar los resultados obtenidos con las metodologías de reconocimiento de somnolencia mencionadas anteriormente se ha analizado cada fotograma de cada uno de los videos proporcionados por la base de datos NTHU-Drowsy Driver Detection (NTHU-DDD) y también cada fotograma de los videos de nuestra propia base de datos.

Las dos metodologías muestran una alerta al momento de detectar la presencia de somnolencia y mediante una verificación manual contamos la cantidad de fotogramas que fueron detectados como somnolientos y la cantidad de los mismos que fueron clasificados como no somnolientos. Finalmente se usó un total de 32 videos proporcionados por la base de datos NTHU-DDD y otros 32 videos que grabamos para las pruebas.

Para la validación de nuestra propuesta de solución haremos uso de indicadores como: la precisión media (AAC) y la tasa de detección (DR) de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. Estas dos medidas nos permitirán evaluar la exactitud e indicar qué algoritmo propuesto es más aceptable en la detección de somnolencia en la cara de los conductores al momento de manejar su vehículo. Para ello haremos uso de una matriz de confusión donde:

- NTP: Sí tiene fatiga y sí ha detectado fatiga correctamente.
- NFN: No tuvo fatiga y sí ha detectado fatiga por error.
- NTN: No tuvo fatiga y no detectó fatiga.
- NFP: Sí tiene fatiga y no ha detectado fatiga por error.

$$AAC = \frac{(NTP + NTN)}{(NTP + NTN + NFP + NFN)} \dots\dots\dots(1)$$

$$DR = \frac{\text{Verdaderos Positivo}}{\text{Drowsy Frames}} = \frac{TP}{(NTP + NFN)} \dots\dots\dots(2)$$

Tabla 1

Matriz de confusión, resultados; situación 3: con oclusión y luminosidad alta. Método: Viola-Jones

Intento	Número de frames	Número de frames con fatiga			Número de frames sin fatiga	AAC (%)	DR (%)
		NTP	NFN	NTN	NFP		
1	1000	242	359	304	95	54,60	40
2	1000	194	423	345	38	53,90	31
3	1000	242	476	271	11	51,30	34
4	1000	321	243	423	13	74,40	57
5	1000	87	0	762	151	84,90	100
6	1000	285	167	515	33	80,00	63
7	1000	365	311	324	0	68,90	54
8	1000	115	68	664	153	77,90	63
Total	8000	1851	2047	3608	494	68,24	47

Elaboración propia

Se ha hecho el experimento sobre los videos de la base de datos NTHU-DDD, al igual que sobre videos que hemos grabado para nuestra propia base de datos en los que se ha pedido a los participantes que simulen síntomas de somnolencia, es decir, pestañear, bostezar, en pequeños intervalos de tiempo.

Para las pruebas realizadas se cuenta con cuatro tipos de escenario, cada uno de ellos con ocho videos de diferentes personas con características distintas en cuanto a etnia, color de piel, tamaño de ojo, etcétera. Los cuatro escenarios de prueba son los siguientes:

- Sin oclusión y luminosidad alta.
- Sin oclusión y luminosidad baja.
- Con oclusión y luminosidad alta.
- Con oclusión y luminosidad baja.

3.1 Resultados obtenidos con la base de datos NTHU-DDD

Contrastando los resultados obtenidos con las dos metodologías, con base en los videos de la base de datos NTHU-DDD, se muestran los siguientes resultados de los cuatro escenarios mencionados.

Tabla 2

Resultados de AAC finales de cada situación probada con la base de datos NTHU-DDD

	Metodología	
	Regression Based Facial Landmark Detection (%)	Viola-Jones (%)
Situación 1	88,65	59,38
Situación 2	74,88	81,70
Situación 3	85,25	73,30
Situación 4	73,88	75,90

Elaboración propia

En el tema de la precisión media (AAC) se puede apreciar que la metodología Regression Based Facial Landmark Detection (RBFLD) supera mínimamente a la metodología Viola-Jones en algunas situaciones, debido a la rotación de rostros que presentan los participantes en los videos.

Una de las ventajas que fue posible observar fue que el algoritmo de Viola-Jones se adecuaba mejor en las situaciones con luminosidad baja que el algoritmo RBFLD; por ello, en las situaciones 2 y 4 tuvo un mayor porcentaje que la otra metodología.

Una ventaja que se pudo observar del algoritmo RBFLD es que no tenía problemas en cuanto a la rotación del rostro, ya que en la mayoría de *frames* se detectó la zona de interés. Sin embargo, en la metodología de Viola-Jones se vieron dificultades con respecto a este ítem (rotación de rostro).

Tabla 3

Resultados de DR finales de cada situación probada con la base de datos NTHU-DDD

	Metodología	
	Regression Based Facial Landmark Detection (%)	Viola-Jones (%)
Situación 1	100,00	22,30
Situación 2	67,71	49,57
Situación 3	89,63	33,08
Situación 4	52,04	43,56

Elaboración propia

Al igual que la precisión media, la tasa de detección de RBFLD supera a Viola-Jones en este caso por un porcentaje alto en comparación a la del AAC. Esto sucedió por el mismo motivo, la rotación del rostro; Viola-Jones detectaba un número muy alto de “falsos negativos (NFN)” en todos los videos, mientras que RBFLD no. Se puede ver que ninguna de las dos metodologías tuvo un porcentaje de detección alto en la última situación probada, las dos se encuentran aproximadamente por el 50 % de detección lo cual en una situación real en que el conductor se quedara dormido, hay una probabilidad del 50 % de que no sea detectado y por ende no sea advertido de que se está quedando dormido, lo que podría ocasionar un accidente.

3.2 Resultados obtenidos con nuestra propia base de datos

Contrastando los resultados obtenidos de las dos metodologías con base en los videos que grabamos nosotros mismos, se muestran los siguientes resultados de los cuatro escenarios mencionados anteriormente.

Tabla 4
Resultados de AAC finales de cada situación con base de datos propia

	Metodología	
	Regression Based Facial Landmark Detection (%)	Viola-Jones (%)
Situación 1	87,03	60,35
Situación 2	86,23	67,10
Situación 3	83,56	68,24
Situación 4	88,92	66,14

Elaboración propia

En el tema de la precisión media (AAC) se puede apreciar que la metodología RBFLD supera en un 20 % a la metodología Viola-Jones en todas las situaciones. La metodología Viola-Jones, al momento de procesar los videos, daba como resultado varios frames como falsos negativos; por tal motivo se da la superioridad de RBFLD, ya que este detectó, la mayoría de las veces, la somnolencia cuando sí existía.

Cabe resaltar que frente al experimento de la base de datos NTHU-DDD, Viola Jones no tuvo problemas al detectar los ojos del participante ya que en esta ocasión no se encontró una rotación del rostro del mismo y la cámara se encontraba frontalmente al rostro del participante.

Una ventaja que se pudo observar del algoritmo RBFLD es que no tenía problemas en cuanto a la rotación del rostro, ya que en la mayoría de *frames* se detectó la zona de interés que en este caso son los ojos.

Tabla 5
Resultados de DR finales de cada situación con base de datos propia

	Metodología	
	Regression Based Facial Landmark Detection (%)	Viola-Jones (%)
Situación 1	95,00	53,45
Situación 2	95,00	47,00
Situación 3	79,00	47,00
Situación 4	95,00	42,00

Elaboración propia

Al igual que la precisión media (AAC), la tasa de detección de RBFLD supera a Viola-Jones, en este caso por un porcentaje alto en comparación al del AAC, al igual que en el experimento con la base de datos NTHU-DDD. Esto sucedió porque Viola-Jones detectaba un número muy alto de falsos negativos en todos los videos, al igual que en el otro experimento; en cambio, el RBFLD no. Se puede ver esta vez que el RBFLD tuvo un porcentaje de detección alto en todas las situaciones excepto en la tercera. Esto se dio porque se detectaba la zona del párpado inferior/superior en vez de los ojos debido al uso de lentes, provocando que, si la persona estaba fatigada, no detectara el algoritmo ya que tomaba la apertura del párpado.

4. CONCLUSIONES

Para realizar nuestra comparación de metodologías usamos una base de datos NTHU-DDD brindada gracias a la universidad National Tsing Hua, de Hsinchu, Taiwán, donde encontramos diferentes videos de personas de etnias distintas simulando que estaban somnolientas en cuatro diferentes situaciones: con luminosidad alta y sin oclusión, con luminosidad baja y sin oclusión, con luminosidad alta y con oclusión, y con luminosidad baja y con oclusión. Con respecto a la precisión media (ACC), con el algoritmo de RBFLD se obtuvo un ACC, en las diferentes situaciones, de 88,65 %, 74,88 %, 85,25 % y 73,88 % respectivamente, en comparación con el algoritmo de Viola-Jones que obtuvo porcentajes de ACC de 59,38 %, 81,70 %, 73,30 % y 75,90 % respectivamente. Estos resultados se dieron ya que el algoritmo

de Viola-Jones, en algunas situaciones, no detectaba correctamente los *frames* debido a la rotación del rostro que el participante presentaba. Sin embargo, este mismo algoritmo respondía mejor a las situaciones de luminosidad baja. Con respecto a la tasa de detección de somnolencia (DR), en el algoritmo RBFLD se obtuvo un DR, en las diferentes situaciones, de 100 %, 67,71 %, 89,63 % y 52,04 % respectivamente, en comparación con el algoritmo de Viola-Jones, que obtuvo porcentajes de 22,30 %, 49,57 %, 33,08 % y 43,56 % respectivamente. Estos resultados se dieron por el mismo motivo mencionado anteriormente, la rotación del rostro fue un problema para el algoritmo de Viola-Jones, captando un número alto de falsos negativos.

Debido a que se dieron estos resultados, decidimos profundizar nuestra validación probando ambos algoritmos en una base de datos con rostros latinos realizada por nosotros mismos con ayuda de nuestros compañeros de la universidad, para luego comparar resultados. Se plantearon las mismas situaciones definidas inicialmente: con luminosidad alta y sin oclusión, con luminosidad baja y sin oclusión, con luminosidad alta y con oclusión, y con luminosidad baja y con oclusión. Con respecto a la precisión media (ACC), con el algoritmo RBFLD se obtuvo un ACC, en las diferentes situaciones, de 87,03 %, 86,23 %, 83,56 % y 88,92 % respectivamente, en comparación con el algoritmo de Viola-Jones que obtuvo porcentajes de ACC de 60,35 %, 67,10 %, 68,24 % y 66,14 % respectivamente. Estos resultados se dieron porque el algoritmo de Viola-Jones, al procesar los videos, captaba varios *frames* como falsos negativos a pesar de que el algoritmo no tuviera el problema de rotación de rostro y se detectaban los ojos de los participantes. Con respecto a la tasa de detección de somnolencia (DR), en el algoritmo RBFLD se obtuvo un DR, en las diferentes situaciones, de 95 %, 95 %, 79 % y 95 % respectivamente, en comparación con el algoritmo de Viola-Jones que obtuvo porcentajes de 53,45 %, 47 %, 47 % y 42 % respectivamente. Estos resultados se dieron por la misma razón mencionada anteriormente: Viola-Jones, al procesar los videos, captaba varios *frames* como falsos negativos a pesar de que el algoritmo no tenía el problema de rotación de rostro y se detectaban los ojos de los participantes.

Pensamos que en el caso de la metodología Viola-Jones, la inclusión de la detección del bostezo para detectar la somnolencia, en vez de acertar mejor, empeoraba la precisión de la detección de la somnolencia. En cambio, la metodología RBFLD, al concentrarse solo en la apertura de los ojos, obtenía un mejor resultado, como se muestra en los porcentajes. Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos, en la mayoría de los escenarios la metodología RBFLD detecta mejor la somnolencia que Viola-Jones, superando las condiciones variables de oclusión, luminosidad y rotación del rostro.

Con base en los trabajos realizados en este campo de investigación, se puede apreciar el aporte en el tema de validación con una cantidad mayor de *frames* que, a su vez, refleja una mayor cantidad de videos. Además, elaboramos nuestra propia base de datos con el objetivo de analizar cómo actúan los algoritmos frente a rostros latinos, específicamente peruanos.

Por último, en la adaptación de Viola-Jones para detectar la somnolencia se usó de base el código fuente proporcionado en el artículo “Facial Features Monitoring for Real Time Drowsiness Detection” (Manu, 2016). Se tuvo que modificar en algunos aspectos, por ejemplo, para que aceptara como *input* videos en vez de utilizar una cámara en tiempo real; se agregó un contador de *frames* para automatizar la validación y ver en qué *frame* del video se perciben los distintos escenarios de la matriz de confusión (verdaderos positivos, verdaderos negativos, falsos positivos, falsos negativos). En el caso del algoritmo RBFLD, se usó de base el código fuente proporcionado por Adrian Rosebrock y se modificaron ciertos parámetros, por ejemplo, para que aceptara videos como input en vez de utilizar la cámara en tiempo real, se agregó un contador de *frames* para automatizar la validación y se agregó al código la fórmula de la apertura de los ojos proporcionada en el artículo “Real-Time Eye Blink Detection Using Facial Landmarks” (Soukupová y Cech, 2016).

REFERENCIAS

- Manu, B. N. (noviembre de 2016). Facial features monitoring for real time drowsiness detection. En: *Innovations in Information Technology (IIT), 2016 12th International Conference*, pp. 1-4. IEEE.
- Rosenbrock, A.
- Soukupová, T., y Cech, J. (Febrero de 2016). Real-Time Eye Blink Detection Using Facial Landmarks. En: *21st Computer Vision Winter Workshop*.
- Viola, P., y Jones, M. J. (2004). Robust Real-Time Face Detection. *International Journal of Computer Vision* 57(2), pp. 137–154.

BIBLIOGRAFÍA

- Aidman, E., Chadunow, C., Johnson, K., y Reece, J. (2015). Real-time driver drowsiness feedback improves driver alertness and self-reported driving performance. *Accident Analysis & Prevention* 81, pp. 8-13.
- Banco Mundial. (2017). *Población urbana (% del total)*. Recuperado de <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?end=2015&start=1985&view=chart>
- Bazrafkan, S., Nedelcu, T., Filipczuk, P., y Corcoran, P. (2017). Deep learning for facial expression recognition: A step closer to a smartphone that knows your moods. *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*.

- Cheng, B., Zhang, W., y Lin, Y. (2012). Driver drowsiness recognition based on computer vision technology. *Tsinghua Science and Technology* 17, pp. 354-362.
- Choy, M., y Chang, G. (2014). *Medidas macroprudenciales aplicadas en el Perú*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2014/documento-de-trabajo-07-2014.pdf>
- Dwivedi, K., Biswaranjan, K., y Sethi, A. (2014). Drowsy driver detection using representation learning. *Advance Computing Conference (IACC)*, IEEE International.
- Flores Calero, M. J. (2009). *Sistema avanzado de asistencia a la conducción mediante visión por computador para la detección de la somnolencia*. Tesis doctoral. Universidad Carlos III, Madrid, España.
- Hu, S., y Zheng, G. (2009). Driver drowsiness detection with eyelid related parameters by Support Vector Machine. *Expert Systems with Applications*, pp. 7651-7658.
- Hwang, K.-A., y Yang, C.-H. (2009). Attentiveness assessment in learning based on fuzzy logic analysis. *Expert Systems with Applications* 36, pp. 6261-6265.
- Julián García, R. A., y Crespín Luis, J. C. (2014). *Sistema detector de somnolencia en secuencias de video de conductores manejando usando visión computacional*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Trujillo.
- Lee, B. G., Jung, S. J., y Chung, W.-Y. (2011). Real-time physiological and vision monitoring of vehicle driver for non-intrusive drowsiness detection. *IET Communications* 5, pp. 2461-2469.
- Pereyra, P. A. (S. f.). *Reconocimiento facial*. Tesis de pregrado. Universidad de Buenos Aires.
- Riveros, O. A. (2008). *Análisis y detección de características faciales usando aprendizaje estadístico*. Tesis de posgrado. Universidad de Chile.
- Rosebrock, A. (2018). Face recognition with OpenCV, Python, and deep learning. Recuperado de <https://www.pyimagesearch.com/2018/06/18/-face-recognition-with-opencv-python-and-deep-learning/>
- Triantafillou, D., y Tefas, A. (2016). Face detection based on deep convolutional neural networks exploiting incremental facial part learning. *23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*.
- Wang, X., y Xu, C. (2016). Driver drowsiness detection based on non-intrusive metrics considering individual specifics. *Accident Analysis & Prevention* 95, pp. 350-357.
- Zhang, T., Zheng, W., Cui, Z., Zong, Y., Yan, J., y Yan, K. (2016). A Deep Neural Network-Driven Feature Learning Method for Multi-view Facial Expression Recognition. *IEEE Transactions on Multimedia* 18, pp. 2528-2539.

Load balancing method for KDN-based data center using neural network

Alex M. R. Ruelas

alrodrig@dca.fee.unicamp.br / University of Campinas. Campinas, Brazil

Christian E. Rothenberg

chesteve@dca.fee.unicamp.br / University of Campinas. Campinas, Brazil

Receipt: 3-7-2018 / Acceptance: 20-8-2018

ABSTRACT. The growth of cloud application services delivered through data centers with varying traffic demands unveils limitations of traditional load balancing methods. Aiming to attend evolving scenarios and improve the overall network performance, this paper proposes a load balancing method based on an Artificial Neural Network (ANN) in the context of Knowledge-Defined Networking (KDN). KDN seeks to leverage Artificial Intelligence (AI) techniques for the control and operation of computer networks. KDN extends Software-Defined Networking (SDN) with advanced telemetry and network analytics introducing a so-called Knowledge Plane. The ANN is capable of predicting the network performance according to traffic parameters paths. The method includes training the ANN model to choose the path with least load. The experimental results show that the performance of the KDN-based data center has been greatly improved.

KEYWORDS: OpenFlow, sFlow, data center, artificial neural network, Knowledge-Defined Networking

Método de equilibrio de carga para un centro de datos basado en KDN mediante la aplicación de una red neuronal

RESUMEN. El crecimiento de los servicios de aplicaciones en la nube entregados a través de centros de datos con diferentes demandas de tráfico revela las limitaciones de los métodos tradicionales de equilibrio de carga. Con el objetivo de asistir a escenarios en evolución y mejorar el rendimiento general de la red, este documento propone un método de equilibrio de carga basado en una Red Neuronal Artificial (ANN) en el contexto de las Knowledge-Defined Networking (KDN). Las KDN buscan aprovechar las técnicas de Inteligencia Artificial (AI) para el control y operación de redes de computadoras. Las KDN amplían las Redes Definidas por Software (SDN) con telemetría avanzada y análisis de red al introducir el así llamado Plano de Conocimiento. La ANN es capaz de predecir el rendimiento de la red de acuerdo con los parámetros de tráfico. El método incluye el entrenamiento del modelo ANN para elegir el camino con menos carga. Los resultados experimentales muestran que el rendimiento del centro de datos basado en las KDN ha mejorado enormemente.

PALABRAS CLAVE: OpenFlow, sFlow, centro de procesamiento de datos, red neuronal artificial, Knowledge-Defined Networking

1. INTRODUCTION

Data centers are the main hosting infrastructures of Internet applications and services (i.e., multimedia content, Internet banking, and social networks). Traditional load balancing methods in such data center networks use dedicated hardware devices to distribute the network traffic in different server replicas. Although this approach achieves high performance in general, it is expensive and lacks flexibility in its configuration, which cannot be dynamically adjusted based on real-time network state or other information.

As an innovative networking technology that offers (logical) centralization of network control and introduces the ability to program the network, Software-Defined Networking (SDN) has been applied to many load balancing systems (Al-Fares, Loukissas, & Vahdat, 2008; Akyildiz, Lee, Wang, Luo, & Chou, 2014; Kreutz et al., 2015), based on decoupling of the data and control planes in which the forwarding state in the data plane is managed by a remote control plane. OpenFlow version 1.3 (O.N.F., 2013) is currently the most well-known SDN protocol. OpenFlow-based SDN can be used for monitoring network switches, sending policy commands to each switch, programming routes with flow tables that can define the planned path, and allowing the dynamic reprogramming of network devices through an external controller that contains the control logic with global knowledge of the network state.

Knowledge-Defined Networking (KDN) (Mestres et al., 2017) is a recent networking paradigm that allows the application of Artificial Intelligence (AI) techniques for controlling and operating the network. KDN relies on SDN, telemetry, and network analytics, and introduces a so-called Knowledge Plane for network control and management operations.

In this paper, we propose a KDN approach based on a load balancing method which uses performance metrics (bandwidth and latency) of each path of the network. Applying an Artificial Neural Network (ANN) to model the system behavior, the proposed load balancing method selects the least loaded path for each flow, altogether improving the SDN routing capabilities.

The rest of this paper is organized as follows: Section II gives an overview of the related works. Section III presents the proposed load balancing scheme, and describes the method to acquire two load features and the major mechanism of Artificial Neural Network to achieve an integrated path load. Section IV presents the experimental results compared with other load balancing schemes. Finally, Section V concludes with final remarks and future work.

2. RELATED WORK

Many methods and mechanisms have been proposed to implement load balancing in SDN environments using the OpenFlow protocol (Akyildiz et al., 2014; Andersson & Termander, 2015; Al-Fares, Radhakrishnan, Raghavan, Huang, & Vahdat, 2010; Li & Pan, 2013; Yang, Su, Liu, & Yang, 2014; Rotsos, Mortier, Madhavapeddy, Singh, & Moore, 2012). In Equal-Cost

MultiPath (ECMP) (Hopps, 2000) and Valiant Load Balance (VLB) (Zhang-Shen, 2010), the controller is used to analyze the replying information from OpenFlow switches and modify the flow tables by specific load balancing strategy, in order to efficiently plan the data transmission path and achieve load balancing in SDN. However, these strategies belong to the static load balancing method which cannot make a dynamic routing plan, according to real-time network load condition. In their thesis, Andersson & Termander (2015) propose a dynamic load balancer design which uses performance management (PM). Thus, PM measures key indicators of network performance such as latency and packet loss for all paths (end-to-end) in the network. This module can detect performance fluctuations in the network and, combined with an SDN controller, makes it possible to reroute the traffic around links that have reduced capacity, with the goal of balancing the load and improving the overall performance. Al Sallami & Al Alousi (2013) propose an ANN-based load balancing technique. To distribute equal load among all servers, this technique uses a back propagation algorithm. The demand of each user is predicted and the resources are allocated according to the predicted demand, but the active servers at any given time depend on the demand of users at that specific time. As a result, active servers are minimized, which leads to low energy consumption. Furthermore, the relation between energy consumption and carbon emission is highlighted in this paper.

Yang et al. (2014) implement an OpenFlow load balancer module and establish a data mining algorithm to predict the future user traffic. In this work, the proposed load balancer is compared with others', measures the influence of flows, and tests the effect of delay times. The experimental results show the proposed module is faster than the general load balancer.

The dynamic load balancing algorithm proposed in Du & Zhuang (2015) is based on OpenFlow and sFlow to efficiently distribute the traffic among the servers of the cluster. The algorithm makes decisions based on real-time traffic statistics obtained via the sFlow protocol.

Research on load balancing in KDN-based data center networks lacks specific load balancing methods. There are several tools to collect information from each path, e.g., the sFlow protocol, performance management tools, OpenFlow protocol, etc. This paper studies a KDN-based method using the global view of the network to collect two features, i.e., the available bandwidth and the observed patch latencies, to feed an Artificial Neural Network capable of suggesting load balancing decisions of the least loaded paths.

3. LOAD BALANCING METHOD USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

3.1 Load balancing system design

The network architecture for the proposed load balancing method in the KDN-based data center is shown below.

Figure 1 shows the sFlow-RT that gathers the metrics of multiple paths of the data center. Then the data is sent to the ANN module to be processed by the ANN. The result will be a route with the least load. This route will be sent to the SDN controller. After that SDN controller chooses the network devices of the resulting route, it will send flow tables for OpenFlow switches to achieve the plan of data flow transmission.

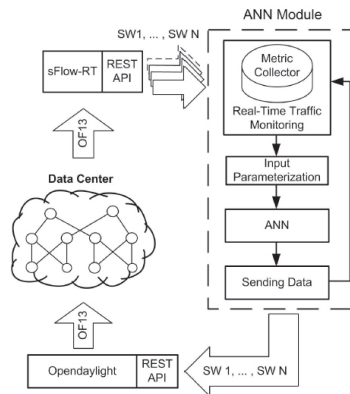


Figure 1. Proposed load balancing method
Elaborated by the author

The proposed load balancing algorithm is as follows:

- i. If the SDN controller finds only a single path for data transmission, then the SDN controller will create flow tables and allocate them to OpenFlow switches for active data transmission.
- ii. If the SDN controller finds multiple paths for data transmission, then the SDN controller will transmit multiple-path load information to the ANN module. Besides, the sFlow-RT gathers the metrics (bandwidth and transmission latency) of multiple paths of the data center.
- iii. The ANN module processes the metrics and chooses the least loaded path, resulting in the return to the SDN controller.
- iv. The SDN controller receives the chosen path from the ANN module and creates flow tables to allocate to OpenFlow switches.

3.2 Path features extraction using sFlow-RT

sFlow is a general-purpose network-traffic measurement technology. The sFlow agent uses the statistical packet-based sampling of switched packet flows to capture traffic statistics from

the switch. Therefore, the traffic can be accurately identified and monitored (Phaal, 2004). In order to acquire the load condition of each path, sFlow-RT should be used to obtain the link load condition between two switches. We implemented the application created in the sFlow-RT real-time network weather map example¹, which allowed us to know the available bandwidth in each link between switches.

This paper utilizes the available bandwidth (BW) and transmission latency (Latency) as the evaluation criteria for the path load condition.

- i. Available bandwidth (BW): It can reflect the load condition of one link. The sFlow-RT sends the bandwidth of each link employing the REST API to the ANN module. If one path contains several links L_1, L_2, \dots, L_n , with the corresponding bandwidth utilization ratio BW_1, BW_2, \dots, BW_n , the available bandwidth ratio of this path can be calculated by equation (1):

$$BW = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n BW_i$$

- ii. Transmission latency (Latency): It is the time spent by the host switch on data transmission (i.e., the amount of time required to push all the packet's bytes into the wire). It can indicate the congestion status of a link and the load situation of the switch in some way. The SDN controller can collect the transmitted bytes Num_Byte in this period and the transmission rate $txRate$ at the corresponding OpenFlow switches port. Then, the transmission latency can be calculated by equation (2):

$$Latency_i = \frac{Num_Byte}{txRate}$$

For several links L_1, L_2, \dots, L_n with transmission latency $Latency_1, Latency_2, \dots, Latency_n$, respectively, then the total latency of this path is as follows (equation 3):

$$Latency_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Latency_i$$

We collected the load features from each communication path by random and ECMP load balancing methods.

¹ <https://github.com/sflow-rt/svg-weather>

3.3 Artificial neural network module

We used a multilayer perceptron (MLP) (Bishop, 1995): a class of feed-forward artificial neural network. An MLP has three types of layers: input, hidden, and output. The number of input and output units in a neural network is generally determined by the dimensionality of the data set, while the number M of hidden units is a free parameter that can be adjusted to give the best generalization performance, corresponding to the balance between underfitting and overfitting. Therefore, we have 64 input nodes and 4 output nodes as shown in Figure 2. Each node is a neuron that uses a nonlinear activation function. The inputs are the available bandwidth (BW) from each link of the data center topology and the outputs are the transmission latency (Latency) in each route. The MLP utilizes a learning technique called “backpropagation” for training. In our experimental setup, we set the value of 1000 as the number of training times, and 0.01 as the learning rate. The structure of the MLP is depicted in Figure 2.

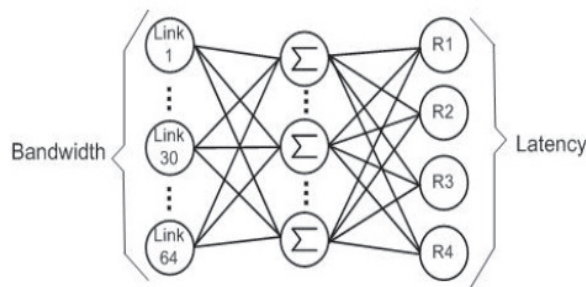


Figure 2. Path load balancing neural network design
Elaborated by the author

There are many rule-of-thumb methods (Heaton, 2008) for determining the correct number of neurons to use in the hidden layers, such as the following:

- i. The number of hidden neurons should be between the size of the input layer and the size of the output layer.
- ii. The number of hidden neurons should be $2/3$ the size of the input layer, plus the size of the output layer.
- iii. The number of hidden neurons should be less than twice the size of the input layer.

3.4 SDN controller

We assume an SDN control platform (that could be implemented as a distributed system) to obtain the global view of the SDN network and discover all paths between the network

device. To update the state of each datapath device, the SDN controller uses a protocol like OpenFlow.

4. EXPERIMENTAL EVALUATION

We use the Mininet network emulator (Mininet, 2017) and the OpenDaylight SDN controller (OpenDaylight load balancer, 2017) to run experiments on multipath SDN environments and evaluate the performance of a proposed load balancing method. The emulated SDN topology is shown in Figure 3.

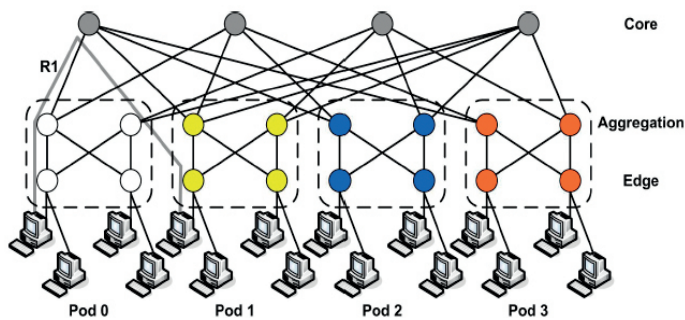


Figure 3. Experimental data center topology. Simple k-ary fat-tree topology ($k = 4$)
Source: Al-Fares, et al., 2010

Figure 3 shows a multiple path network topology. This topology contains four paths between the pod from source node to destination node. Example of Pod 0 to Pod 1:

Route 1: $Switch1_1 \rightarrow Switch1_2 \rightarrow Switch5_1 \rightarrow Switch2_2 \rightarrow Switch2_1$

Route 2: $Switch1_1 \rightarrow Switch1_2 \rightarrow Switch5_2 \rightarrow Switch2_2 \rightarrow Switch2_1$

Route 3: $Switch1_1 \rightarrow Switch1_3 \rightarrow Switch5_3 \rightarrow Switch2_3 \rightarrow Switch2_1$

Route 4: $Switch1_1 \rightarrow Switch1_3 \rightarrow Switch5_4 \rightarrow Switch2_3 \rightarrow Switch2_1$

In a real network environment, the network traffic presents strong randomness and uncertainty. So, in this paper, the experiment is designed to simulate the network environment as close possible to reality.

The traffic will be transmitted from Host1 to Host5, Host2 to Host6, ..., Host 15 to Host3, Host16 to Host4. During the 16 traffic transmissions, the load conditions of four

paths from Host1 to Host5 are quite different. Then, we will start to control Host1 to send traffic to Host5, which is regarded as the new incoming dataflow in the SDN domain.

4.1 Experimental results

4.1.1 Training results of MLP

Before using the MLP to indicate the integrated path load, it is indispensable to train the neural network with a large number of datasets in order to achieve the least error Artificial Neural Network. We used Mininet to emulate the KDN topology as shown in Figure 3. Hosts in the topology will transmit traffic randomly to other hosts to simulate the network traffic, while the SDN controller utilizes OpenFlow and sFlow protocol to record the path load features. We collected path load features in 480 sec to generate the datasets and train the MLP. In this work, the dataset of inputs and outputs was divided randomly into three subsets:

- Training set (75 %)
- Valediction set (15 %)
- Testing set (15 %)

As depicted in the previous section on the ANN module, the number of neurons (M) in the hidden layer cannot be easily determined. In the procedure of training, we trained the MLP, so we could get the results of these different neural networks to evaluate the performance of the MLP. The experimental results are shown in Table 1.

Table 1
Different number of hidden nodes in MLP

Number of hidden node		Error
1 layer	2 layer	
12	3	0.52
12	6	0.45
20	6	0.22
30	6	0.11
30	12	0.002

Elaborated by the author

We may choose the option that has the least errors. The last option may be preferred, since it has a reasonable error of 0.002. It gives the best generalization performance corresponding to the optimum balance between underfitting and overfitting. Figure 4 shows the decrease of the error by the number of epochs.

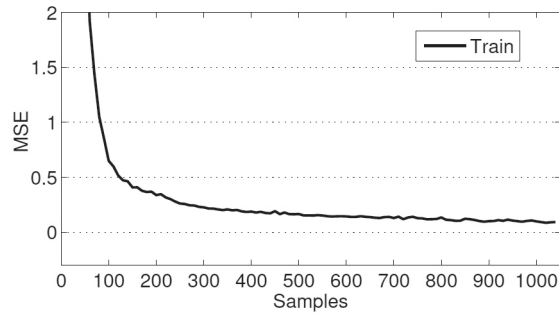


Figure 4. Evolution of the MSE (mean squared error) as a function of the size of the training set

Elaborated by the author

4.1.2 Load balancing experiments

The last experiment tests the performance of our load balancer with some realistic workloads. In order to evaluate the load balancing method based on MLP, we compared it with two other load balancing methods, namely, the ECMP and a random load balancing method. There are 16 traffics among hosts: each one generates an MLP according to the data entered by the load balancers (ECMP and random). Therefore, we have 16 MLP which choose a path with less traffic among the 4 possible routes. Figure 5 shows the results of the proposed method compared with the other two methods used for training the ANN.

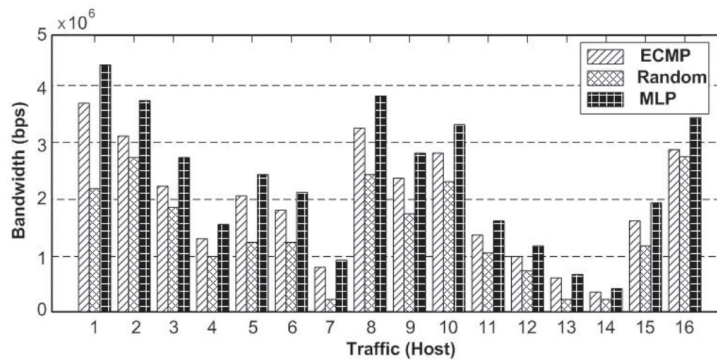


Figure 5. Results obtained with the three load balancing methods

Elaborated by the author

5. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

We present a load balancing method based on MLP to predict path traffic demands, change the routes according to the proposed traffic metrics, and choose the least loaded path between source and destination nodes. Bandwidth utilization ratios and path latencies are collected and integrated into the Artificial Neural Network to represent the path load condition. Experimental results from the Mininet emulator and the OpenDaylight controller point to the performance opportunities of applying KDN-based methods in data center scenarios.

In future works, we intend to run larger scale experiments with diverse topologies. In addition to applying KDN to data center scenarios, we will also consider video streaming scenarios over wireless access networks using Mininet-WiFi.

REFERENCES

- Akyildiz, I. F., Lee, A., Wang, P., Luo, M., & Chou, W. (2014). A roadmap for traffic engineering in sdn-openflow networks. *Computer Networks*, 71, 1-30.
- Al-Fares, M., Loukissas, A., & Vahdat, A. (2008). A scalable, commodity data center network architecture. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 38(4), 63-74.
- Al-Fares, M., Radhakrishnan, S., Raghavan, B., Huang, N., & Vahdat, A. (2010). Hedera: Dynamic flow scheduling for data center networks. In Nsdi, 10).
- Al Sallami, N. M., & Al Alousi, S. A. (2013). Load balancing with neural network. (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 4(10).
- Andersson, J., & Termander, E. (2015). Performance management in software defined networking.
- Bishop, C. M. (1995). *Neural networks for pattern recognition*. Oxford University Press.
- Du, Q., & Zhuang, H. (2015). Openflow-based dynamic server cluster load balancing with measurement support. *Journal of Communications*, 10(8), 16-21.
- Heaton, J. (2008). *Introduction to neural networks with java*. Heaton Research, Inc.
- Hopps, C. (2000, November). Analysis of an equal-cost multi-path algorithm. <https://tools.ietf.org/html/rfc2992>. ([accessed: 9 Aug. 2018])
- Kreutz, D., Ramos, F. M., Esteves Verissimo, P., Esteve Rothenberg, C., Azodolmolky, S., & Uhlig, S. (2015). Software-defined networking: A comprehensive survey. proceedings of the IEEE, 103(1), 14-76.

- Li, Y., & Pan, D. (2013). Openflow based load balancing for fat-tree networks with multipath support. In Proc. 12th IEEE International Conference on Communications (icc'13), Budapest, Hungary (pp. 1-5).
- Mestres, A., Rodriguez-Natal, A., Carner, J., Barlet-Ros, P., Alarcón, E., Solé, M.,... others (2017). Knowledge-defined networking. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 47(3), 2-10.
- Mininet. (2017). An Instant Virtual Network on your Laptop (or other PC). Retrieved from <http://mininet.org/>
- O.N.F. (2013). *Openflow switch specification, tech. rep., oct. 2013*. Retrieved from <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifica>
- Phaal, P. (2004). *sflow version 5*. Retrieved from http://www.sflow.org/sflow_version_5.txt
- Rotsos, C., Mortier, R., Madhavapeddy, A., Singh, B., & Moore, A. W. (2012). Cost, performance & flexibility in openflow: Pick three. In *Communications (ICC), 2012 IEEE International Conference on* (pp. 6601-6605).
- Yang, C.T., Su, Y.W., Liu, J.C., & Yang, Y.-Y. (2014). Implementation of load balancing method for cloud service with open flow. In *Cloud computing technology and science (cloudcom), 2014 IEEE 6th International Conference* (pp. 527-534).
- Zhang-Shen, R. (2010). Valiant load-balancing: Building networks that can support all traffic matrices. In *Algorithms for next generation networks* (pp. 19-30). Springer.

Trazabilidad con Blockchain

Manuela Linares Barbero
malinare@ulima.edu.pe / Universidad de Lima. Lima, Perú

Recepción: 13-7-2018 / Aceptación: 8-8-2018

RESUMEN. En la actualidad los consumidores muestran mayor preocupación por conocer la procedencia de los productos que adquieren y procuran informarse mejor sobre estos. Tal situación obliga a las empresas no solo a ofrecer información bastante completa a los consumidores finales, ya sean personas naturales o instituciones, sino que deben preocuparse por obtener dicho conocimiento de sus proveedores y de los proveedores de insumos de sus proveedores, es decir, de toda la cadena de suministro. Hoy se empiezan a observar algunas propuestas para solucionar este problema de trazabilidad empleando la tecnología Blockchain, que ha captado la atención tanto de empresarios como de académicos. En nuestro artículo nos enfocaremos en la aplicación de la plataforma de Blockchain en la cadena de suministro, en función de los beneficios que propone la trazabilidad.

PALABRAS CLAVE: Blockchain, cadena de suministro, trazabilidad, sistemas distribuidos

Traceability with blockchain

ABSTRACT. Currently, consumers are more concerned about the origin of the products they buy and seek to learn more about them. This situation forces companies not only to offer complete information to final consumers, whether they are individuals or institutions, but also to be concerned about obtaining this knowledge from their suppliers, and suppliers of supplies for their suppliers, that is, of the entire supply chain. Today we begin to observe some proposals to solve this problem of traceability using the Blockchain technology, which has attracted the attention of both executives and academics. In our article, we will focus on the application of the Blockchain platform in the supply chain, based on the benefits proposed by traceability.

KEYWORDS: Blockchain, supply-chain, traceability, distribute system

1. INTRODUCCIÓN

La globalización del comercio ha facilitado a los consumidores la compra de bienes de diferentes partes del mundo en tiendas o supermercados locales. Un consumidor puede adquirir objetos de marcas extranjeras, como zapatillas de los Estados Unidos, y detecta que el país de producción es otro como, por ejemplo, China. Por eso, es necesario observar detalladamente la mercancía con la finalidad de descubrir su procedencia real. Si analizamos productos de orden alimenticio el fenómeno se acentúa. Ello nos demuestra la importancia de poder contemplar la trazabilidad de cada artículo e ir más atrás: no solo donde se ha generado el bien, sino también donde se originaron sus insumos. El presente trabajo busca detallar el beneficio de trazabilidad que nos ofrece Blockchain en la cadena de suministro.

La tecnología Blockchain nos permite identificar la trazabilidad de cada producto y de cada insumo al generar un registro inalterable de tiempos en cada etapa del producto o insumo. La generación de un registro de fabricación del producto no es algo nuevo, sin embargo, la difusión del registro se limita a cada empresa. La nueva tecnología Blockchain, en su forma privada, posibilita recurrir a un registro desde los insumos originales hasta el consumidor final e incluso hasta el mercado de segunda mano. Así, por ejemplo, se puede averiguar qué tipo de alimento consumió la vaca cuyo cuero sirvió para fabricar una determinada cartera.

2. BLOCKCHAIN

El trabajo colaborativo no es un concepto nuevo; se ha utilizado en diversas áreas del conocimiento con éxito. Dicho concepto ha pasado paulatinamente a la ciencia de la computación en la forma de sistemas distribuidos, que se han empleado en diferentes niveles por varios años. Motivados por nuevos retos se desarrollan conceptos y tecnologías como es la de Blockchain que recientemente ha llamado la atención de la academia y del mundo empresarial.

La tecnología Blockchain busca efectuar transacciones descentralizadas entre entidades sin la necesidad de que prime la confianza entre estas. La plataforma en mención pretende eliminar la entidad que centraliza la información, así como la autorización de las transacciones. De esta forma se elimina la redundancia de procesos y también la necesidad de una entidad intermediaria, ya que el público en la red puede observar la transacción. Se estima un ahorro de 6 billones de dólares en el mercado actual de capitales al eliminar el doble esfuerzo en el gobierno de los datos (Goldman Sachs Group, 2016). Y se proyecta para el 2020 que la tecnología de Blockchain ayudará a eliminar los procesos duplicados antes mencionados (Morgan y Wyman, 2016).

La Blockchain más famosa es Bitcoin, criptomoneda creada con el propósito de resolver el problema de doble gasto en las transacciones (Christidis y Devetsikiotis, 2016). No obstante, en la actualidad no es la única Blockchain que nos facilita esta forma de dinero. Podemos

clasificar a las Blockchain de acuerdo con las funciones que nos ofrecen. Esta propiedad se clasifica en tres tipos: las que nos presentan una criptomoneda, como indicamos; las que digitalizan activos o bienes, es decir, permiten el seguimiento del valor y el dueño de un activo o bien, y finalmente las que nos extienden una mayor gama de procesos para diferentes aplicaciones (Anh Dinh, Liu, Zhang, Chen, Chin Ooi y Wang, 2018). Para lograr las funcionalidades mencionadas debemos identificar la necesidad de una Blockchain pública, como Bitcoin, o privada, como Hyperledger Fabric. La diferencia radica principalmente en que la red pública les posibilita a todos los nodos el acceso y eventualmente la creación de nuevos bloques. Sin embargo, en la red privada existe una lista predefinida de los nodos que pertenecen a ella, y cada uno de estos presenta diferentes accesos.

En la Blockchain pública, con un mecanismo de consenso tradicional, todo aquel que posea un nodo tiene acceso a votar para validar una transacción o no, cada uno de estos cuenta con un solo voto. Ello trae consigo el ataque Sybil, que es cuando un nodo de forma maliciosa genera múltiples identidades para conectarse a la red y así contar con muchos votos y aprobar o rechazar una transacción de acuerdo a su conveniencia (Yeow, Gani, Rodrigues, Ahmad y Ko, 2017). Para mantener la integridad de la cadena de bloques y evitar estos ataques Sybil, se trabaja con el protocolo PoW (Proof-of-Work), con el que identificamos otra propiedad de Blockchain: el protocolo de consenso.

Existen varios protocolos de consenso. Los más utilizados son PoW, que se emplea con las Blockchain públicas y está basado netamente en cálculos computacionales para que un solo minero no pueda realizar más de un cálculo en simultáneo y así evitar el ataque Sybil (Anh Dinh *et al.*, 2018). Este protocolo utiliza los nodos de minería, los cuales pueden tener más de un minero, quienes son los que verifican las transacciones al encontrar el número *noncek* (número aleatorio) adecuado para el *hash* del contenido del bloque y el *hash* del bloque anterior, y recibe una recompensa en criptomoneda o algún *token* de la Blockchain. El nodo de minería seleccionado deberá realizar un algoritmo para formar el *hash* (SHA256) (Yeow *et al.*, 2017) y verificar así el bloque.

Nakamoto, creador de esta plataforma, en su versión original de Blockchain desarrolla el protocolo PoW, basado en los cálculos computacionales del CPU; luego pasó a la tarjeta de video del computador y el día de hoy al procesador ASIC (Application-Specific Integrated Circuit). Lamentablemente esto ha generado que más del 50 % del *hash power* se encuentre ubicado en China (Yeow *et al.*, 2017), más del 23 % de los nodos se encuentran ubicados en Estados Unidos y más de 18 % de los nodos se encuentran ubicados en Alemania (Yeow, 2018), lo que genera centralización.

Otro de los protocolos más comunes es el Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT), que se maneja con las Blockchains privadas y está basado principalmente en comunicación. En una red privada no es necesario usar recompensas porque todos los nodos de la Blockchain han sido predefinidos y no existe el riesgo de un ataque Sybil. Sin embargo, no se anula la probabilidad

de que alguno de sus nodos actúe de forma maliciosa o presente defectos. En este protocolo se acepta la transacción si dos tercios de los nodos la verifican. Por tanto, asume que los nodos maliciosos o defectuosos son menos de un tercio de los nodos de la red (Yeow *et al.*, 2017).

Debemos destacar que en la actualidad se cuenta con más de 17 plataformas de Blockchain con características diferentes (Shanley, 2017). Algunas públicas y otras privadas, una de las características más importantes es el protocolo de consenso, del que existe gran diversidad, pero estos han sido desarrollados basados en el PoW o PBFT ya mencionados, con algunas variantes buscando mejorarlos. Así, está el PoS (Proof of Stake), que intenta mejorar el PoW al reducir el trabajo de minado, minimizando el uso de energía eléctrica y adicionando un elemento de apuesta que puede estar definido como una función o un *smart contract*, como es en el caso de Ethereum con Casper (Anh Dinh *et al.*, 2018).

3. TRAZABILIDAD CON BLOCKCHAIN EN LA CADENA DE SUMINISTRO

La cadena de suministro constituye uno de los componentes más importantes en la empresa porque evita problemas de ruptura de *stock*, costos altos innecesarios, así como costos por robo o falsificación de productos, errores de planificación, entre otros. Por tal motivo múltiples soluciones han sido desarrolladas como modelos EDI (Electronic Data Interchange) para conectar proveedores, manufactureras y distribuidores, y así tener un mayor control de la planificación. También se utilizan modelos RFID (Radio Frequency IDentification) con la finalidad de evitar robos y falsificaciones de los bienes.

Sin embargo, estos modelos y muchos otros más están enfocados en la planificación de los órdenes de pedido y el almacenamiento de los bienes, e ignoran la trazabilidad de la cadena de suministro.

El beneficio que persigue la trazabilidad es que se pueda identificar claramente a los fabricantes de los productos, hasta el origen de los insumos. Recurriendo a la tecnología Blockchain se empiezan a desarrollar diferentes soluciones, como es el proyecto piloto de la cadena de tiendas Walmart Store Inc. con IBM, quienes en abril del 2017 iniciaron el desarrollo para fortalecer la cadena de suministro de alimentos y lograr la trazabilidad de la cadena de suministro *from-farm-to-table* (de la granja a la mesa), de mangos y carne de cerdo en China (Firica, 2017). Otra propuesta de aplicación de Blockchain es AgriBlockIoT, la cual utilizando IoT (Internet of Things o Internet de las Cosas) pretende conectar la cadena de suministro desde el productor hasta el consumidor final *from-farm-to-fork* (de la granja al tenedor) (Pincheira Caro, Salek Ali, Vecchio y Giaffreda, 2018).

La trazabilidad en la cadena de suministro ha cobrado gran importancia en la actualidad, no solo por la denominación de origen de los productos alimenticios, sino también para evitar

falsificaciones de insumos o de artículos de lujo, especialmente cuando estos últimos entran al mercado de segunda mano. Al analizar esta cadena de suministro reparamos en lo fácil que es para personas inescrupulosas alterar o copiar las etiquetas RFID que normalmente se usan para etiquetar los bienes.

Para realizar una trazabilidad precisa es necesario vincular el bien físico con el registro virtual, lo que se realiza con las etiquetas RFID o similares. El referido registro virtual se ejecuta en la plataforma Blockchain cuando un nodo minero genera el bloque, identificando la entidad, y lo ofrece a la red para su validación. En este punto se cuenta con varias soluciones de acuerdo con la ubicación en la cadena de suministro en la que se cree el registro. Así, por ejemplo, si un agricultor quiere registrar el crecimiento del cultivo o la venta de la cosecha, se puede usar un modelo con dispositivos como *smartphones*, tabletas, sensores, etcétera, para enviar la información y generar la transacción en el nodo minero más cercano, registrando así la transacción en la Blockchain (Pincheira Caro et al., 2018). En otro escenario, si un fabricante de aviones quiere verificar el aluminio usado en la turbina que está comprando de su proveedor, puede verificar esta información que se encuentra en la cadena de bloques (Madhwal y Panfilov, 2017). También, si un consumidor del mercado de segunda mano desea identificar la originalidad de una cartera de lujo, puede hacerlo verificando la fabricación del producto antes de realizar la compra (Toyoda, Sasase, Ohtsuki y Mathiopoulos, 2017). O un observador a través de un nodo monitor registra la transacción sobre la geolocalización de los bienes transportados para su seguimiento (Wu, Li, King, Miled, Wassick y Tazelaar, 2017).

Como mencionamos anteriormente, existen plataformas de Blockchain públicas en las cuales cualquier nodo podría generar un nuevo bloque, y plataformas de Blockchain privadas en las que todos los nodos son conocidos y cada uno tiene accesos específicos en cuanto a la creación y validación de bloques. Pensando en las diferentes transacciones no es difícil dar el siguiente paso y combinar soluciones que contemplen plataformas de Blockchain públicas y privadas. Al observar transacciones de transporte entre países, identificamos que entidades como aduanas u otras similares podrían beneficiarse de compartir la información en una Blockchain privada con cierta información pública y así facilitar el proceso (Engelenburg, Janssen y Klievink, 2017). Las transacciones de compraventa de moneda virtual o de valor de un bien físico también pueden beneficiarse con la Blockchain pública. Otras transacciones como el registro de producción o el manejo de inventarios pueden mantenerse en una Blockchain privada, especialmente si son bienes de valor o medicamentos. Es decir, las transacciones con los datos más sensibles es mejor retenerlas en una Blockchain privada, la que podría ser desarrollada con un modelo híbrido donde se combine la arquitectura física distribuida y de punto a punto, en la que se crea una subred por cada embarque de productos (Wu *et al.*, 2017). Evidenciamos así que es posible el desarrollo de múltiples modelos para cada solución particular.

Es importante destacar el papel de las plataformas de Blockchain. Al observar las pruebas realizadas comparando el desempeño de Ethereum y Hyperledger Saw-Tooth (Pincheira Caro

et al., 2018) o de Ethereum, Parity y Hyperledger Fabric (Anh Dinh *et al.*, 2018) en cuanto a número de transacciones y escalabilidad, podemos ver que a mayor escalabilidad menor número de transacciones, es decir menor velocidad. Esto nos demuestra que las Blockchain públicas como Bitcoin, que deben tener gran escalabilidad, se demoran 10 minutos por bloque (Anh Dinh *et al.*, 2018), y las Blockchain que ofrecen un gran rendimiento como Hyperledger Fabric v0.6.0 solo soportan ocho nodos. Nuevas versiones de Hyperledger Fabric v1.0 tienen mejor escalabilidad y menor rendimiento al utilizar el servicio centralizado Kafka (Anh Dinh *et al.*, 2018). La compensación entre escalabilidad y rendimiento mantiene las características primordiales de las plataformas Blockchain en cuanto a registro de tiempos, transacciones que no se pueden modificar o borrar y transparencia; todas son características que la trazabilidad puede ofrecernos.

4. CONCLUSIONES

Apreciamos la existencia de diferentes soluciones que se están investigando para lograr el gran beneficio que extiende la trazabilidad en la cadena de suministro. Cada solución se enfoca en una aplicación particular de la tecnología Blockchain. Esta nueva plataforma logrará cambios sustantivos como lo demuestran las tecnologías disruptivas. En el campo de la cadena de suministro, la tecnología de Blockchain nos permite evitar la falsificación de productos y ofrecer transparencia en la trazabilidad de los mismos. Sin embargo, se deben solucionar aún algunos problemas en cuanto al modelo, definir un diseño claro, detallar las pautas del gobierno de los datos y el modelo para aplicar incentivos, y, en cuanto a la implementación, determinar el rendimiento y la escalabilidad para que se convierta en algo real.

Se puede ver la compensación entre escalabilidad y rendimiento (cantidad de transacciones y tiempo de transacción). Algunas plataformas de Blockchain que ofrecen gran rendimiento solo soportan hasta ocho nodos, como Hyperledger Fabric v0.6.0 (Anh Dinh *et al.*, 2018); es difícil creer que la cantidad de nodos mencionada sea suficiente para una cadena de suministro conectada desde la generación de insumos hasta el consumidor final, peor aún si queremos pasar al mercado de segunda mano. Nuevas versiones de Hyperledger Fabric v1.0 tienen mejor escalabilidad, pero el rendimiento decrece. Otras demoran aproximadamente 10 minutos en crear un bloque, como Bitcoin (Anh Dinh *et al.*, 2018).

Adicionalmente los participantes en el mercado de segunda mano necesitarían un nodo minero para generar bloques y que se haga efectiva la transacción, por lo que podría funcionar solo con productos de segunda mano que compren las empresas, como maquinarias o productos de lujo. Para que el público pueda acceder a los beneficios indicados de la Blockchain se deben utilizar equipos con IoT (como *smartphones*, tabletas, sensores, etcétera) de fácil empleo para el público en general, los que poseen capacidad de comunicación para enviar la información al nodo minero más cercano, en donde se creará el bloque, como propone AgriBlockIoT

(Pincheira Caro *et al.*, 2018). Las personas que deseen solo leer la información almacenada en la Blockchain lo podrían hacer mediante dispositivos IoT conectados con claves pública y privada, para mayor seguridad, al nodo minero más cercano (Qu, Tao, Zhang, Hong y Yuan, 2018). En conclusión, la tecnología de Blockchain promete una mejor trazabilidad en la cadena de suministro, pero aún se encuentra en su estado inicial. En futuros trabajos podremos analizar la seguridad de esta plataforma en términos de confidencialidad y no solo de integridad, como señalamos, especialmente al conectar equipos de IoT con la tecnología referida, así como el manejo del gobierno de los datos, de acuerdo a la industria y el modelo de negocio.

REFERENCIAS

- Anh Dinh, T., Liu, R., Zhang, M., Chen, G., Chin Ooi, B., y Wang, J. (Julio de 2018). Untangling Blockchain: A Data Processing View of Blockchain Systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 30(7), pp. 1366-1385. doi:10.1109/TKDE.2017.2781227
- Christidis, K., y Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the internet of things. *IEEE Access* 4, pp. 2292-2303. doi:10.1109/ACCESS.2016.2566339
- Engelenburg, S., Janssen, M., y Klievink, B. (2017). Design of a software architecture supporting business-to-government information sharing to improve public safety and security. *Journal of Intelligent Information Systems*. doi:10.1007/s10844-017-0478-z
- Firica, O. (Octubre de 2017). Blockchain technology: Promises and realities of the year 2017. *Quality-Access to Success* 18(S3), pp. 51-58.
- Goldman Sachs Group (2016). *Blockchain: Putting Theory into Practice*. Equity Research.
- Madhwal, Y., y Panfilov, P. B. (2017). Blockchain and supply chain management: Aircrafts' parts' business case. *28th DAAAM International Symposium on intelligent manufacturing and automation*. Viena. doi: 10.2507/28th.daaam.proceedings.146
- Morgan, J. P., y Wyman, O. (2016). *Unlocking Economic Advantage with Blockchain: A guide for asset managers*.
- Pincheira Caro, M., Salek Ali, M., Vecchio, M., y Giaffreda, R. (2018). Blockchain-based Traceability in Agri-Food Supply Chain Management: A Practical Implementation. *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture*. Tuscany: IEEE.
- Qu, C., Tao, M., Zhang, J., Hong, X., y Yuan, R. (Junio de 2018). Blockchain Based Credibility Verification Method for IoT Entities. *Security and Communication Networks 2018*, pp. 1-11. doi: doi.org/10.1155/2018/7817614

- Shanley, A. (2017). Could Blockchain improve pharmaceutical supply chain security? *Pharmaceutical Technology*, pp. 34-39.
- Toyoda, K., Sasase, I., Ohtsuki, T., y Mathiopoulos, P. (2017). A Novel Blockchain-Based Product Ownership Management System (POMS) for Anti-Counterfeits in the Post Supply Chain. *IEEE Access* 5, pp. 17465-17477. doi:10.1109/ACCESS.2017.2720760
- Wu, H., Li, Z., King, B., Miled, Z. B., Wassick, J., y Tazelaar, J. (2017). A Distributed ledger for supply chain physical distribution visibility. *Information* 8(137), pp. 1-18. doi:10.3390/info8040137
- Yeow, A. (2018). Bitnodes. Recuperado de *earn.com*: <https://bitnodes.earn.com/>
- Yeow, K., Gani, A., Rodrigues, J., Ahmad, R., y Ko, K. (2017). Decentralized Consensus for Edge-Centric Internet of Things: A Review, Taxonomy, and Research Issues. *IEEE Access*, 6, 1513-1524. doi: 10.1109/Access.2017.2779263

BIBLIOGRAFÍA

- Anh Dinh, T., Wang, J., Chen, G., Liu, R., Chin Ooi, B., y Tan, K.-L. (2017). *Blockbench: A Framework for Analyzing Private Blockchains*. Chicago: ACM. doi:10.1145/3035918.3064033
- Beninger, P. (2017). Opportunities for Collaboration at the Interface of Pharmacovigilance and Manufacturing. *Clinical Therapeutics* 39(4), pp. 702-712. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinthera.2017.03.010>
- Kiyomoto, S., Rahman, M., y Basu, A. (2017). On Blockchain-based Anonymized Dataset Distribution Platform. *IEEE/ACIS 15th International Conference on Software Engineering Research, Management and Application (SERA)*, Londres.
- Kshetri, N. (2017). Can Blockchain Strengthen the Internet of Things? *IT Professional*, pp. 68-72.
- Zhang, J., Xue, N., y Huang, X. (2016). A secure system for pervasive social network-based healthcare. *IEEE Access* 4, 9239-9250. doi:10.1109/ACCESS.2016.2645904

SAPPO. Sistema de autoevaluación en la nube del estándar ISO/IEC 29110 para pequeñas empresas de desarrollo de *software*

Mauricio Marroquín Rosales
19990535@aloe.ulima.edu.pe / Universidad de Lima. Lima, Perú

Recepción: 30-6-2018 / Aceptación: 20-8-2018

RESUMEN. Este artículo tiene como objetivo proponer un nuevo sitio web en el cual las pequeñas empresas de *software* puedan realizar una autoevaluación en el conjunto de estándares de calidad ISO/IEC 29110, permitiéndoles la detección de deficiencias en sus prácticas de desarrollo. Adicionalmente, el sitio web propuesto incluirá contenido educativo sobre el estándar. En este artículo se revisa brevemente la problemática de las pequeñas empresas de desarrollo de *software* para adoptar estándares de calidad ISO/IEC 29110 y otros estándares orientados a la pequeña empresa; el estado del arte de las herramientas de autoevaluación existentes para ISO/IEC 29110; la propuesta de implementación del sitio web en sí, y, finalmente, concluimos con algunas reflexiones sobre la importancia de la difusión y la adopción de los estándares de calidad en las micro y pequeñas empresas, y cómo estos ayudan no solo a mejorar la calidad de sus productos sino también a aumentar su competitividad en el mercado internacional. El nombre de esta nueva web propuesta es Sistema de autoevaluación para pequeñas organizaciones, (SAPPO).

PALABRAS CLAVE: calidad, *software*, ciclo de vida, ISO 29110

SAPPO. Cloud self-assessment system for the ISO/IEC 29110 standard aimed at small software-development companies

ABSTRACT. The objective of this article is to propose a new website in which small software companies will perform self-assessments on the set of quality standards ISO/IEC 29110, allowing the detection of deficiencies in their development practices. In addition, the proposed website will include educational content about the standard. This article examines briefly the existing barriers for quality standards adoption; ISO/IEC 29110 and other small business-oriented standards; the state of the art of existing evaluation tools for ISO/IEC 29110; the implementation of the new proposed website; and finally we conclude with some reflections on the importance of the dissemination and adoption of standards of quality in micro and small enterprises, and how these not only help to improve the quality of their products but also help to increase their competitiveness in the international market. The name of this new proposal is “Self-Assessment System for Small Organizations”, acronym in Spanish: SAPPO.

KEYWORDS: quality, software, lifecycle, ISO 29110

1. INTRODUCCIÓN

Según O'Connor y Laporte (2017) las pequeñas empresas de desarrollo tienden a tener una visión a corto plazo y se concentran primariamente en sobrevivir y no en crecer y expandirse, y un problema común que presenta la mayoría de las empresas pequeñas es su falta de interés en la adopción de estándares de calidad, lo cual tienden a ver como algo costoso y apropiado únicamente para grandes organizaciones (Laporte, Alexandre y O'Connor, 2008). Por consiguiente, las pequeñas empresas de *software* tienen formas muy limitadas de ser reconocidas como empresas que producen *software* de calidad y, por consiguiente, quedan fuera de algunas actividades económicas (O'Connor y Laporte, 2017). Por otro lado, existen muchas iniciativas para promover los estándares de calidad de *software* en las pequeñas empresas de América Latina a nivel gubernamental (MINTIC, 2018; PROSOFT, 2018), a nivel de asociaciones de empresas productoras de *software* y esfuerzos a nivel académico (Laporte y O'Connor, 2016; Universidad de Lima, 2018). En este contexto, SAPPO es una iniciativa adicional para promover los estándares de calidad en las pequeñas empresas, específicamente el estándar ISO/IEC 29110.

El presente artículo consta de las siguientes partes: la sección 2 describirá el estándar ISO 29110 y presentará las herramientas existentes de evaluación del mismo. La implementación propuesta de la *web* se encuentra descrita en la sección 3. Finalmente, las conclusiones y reflexiones sobre este trabajo se exponen en la sección 4.

2. ESTADO DEL ARTE

Existe una gran variedad de estándares y modelos de calidad para empresas pequeñas de desarrollo de *software*. Dentro de ellos, de los que están más orientados a empresas de América Latina, podríamos mencionar a Competisoft, MoProSoft, Mps.Br e ISO 29110 (Merchán, Villa y Sánchez, 2017). Por otro lado, existen modelos como CMMI-DEV, el cual no necesariamente está enfocado en América Latina pero aun así es un modelo muy utilizado (Amable, Millones y Checa, 2015). En el marco de este trabajo nos centraremos en ISO/IEC 29110 y las herramientas de autoevaluación.

2.1 ISO 29110

El estándar ISO 29110 está compuesto principalmente por un grupo de documentos (figura 1) llamados también “partes”, siendo los más destacables los documentos que detallan lo que ISO llama “perfiles”. Estos perfiles (clasificados en perfil de entrada, básico, intermedio y avanzado) describen de forma incremental tareas que deben ejecutarse en cada proceso que pertenezca al perfil. Por ejemplo, en el perfil básico de ingeniería de *software* se describen las tareas que deben ejecutar los procesos de gestión de proyectos y desarrollo de *software*. El término Pequeña

Organización (PO) puede referirse a una pequeña empresa o a un departamento dentro de una gran organización.

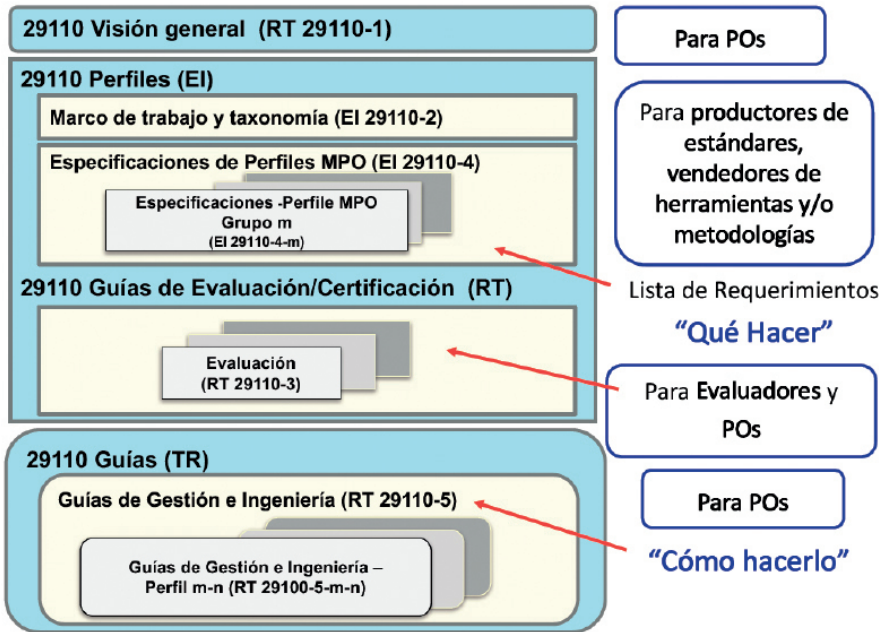


Figura 1. Estructura de ISO/IEC 29110

Fuente: Laporte, 2017

Tabla 1

Beneficios de adoptar el estándar para las pequeñas empresas

Internos	Externos
Menor riesgo en el desarrollo	Incremento de competitividad
Mayor calidad en los productos de <i>software</i>	Mayor confianza y satisfacción del cliente
Mejor imagen institucional	
Mayor potencial exportador	

Fuente: O'Connor y Laporte, 2017

2.2 Herramientas de autoevaluación de ISO 29110

Existen varias herramientas para evaluar el cumplimiento de los procesos que describe la norma ISO/IEC 29110. A continuación se describirán las herramientas que han sido encontradas en la literatura y realizando búsquedas en la *web*.

2.2.1 Paquetes de despliegue: autoevaluación

Los Paquetes de Despliegue de ISO/IEC 29110 son plantillas que facilitan la adopción del estándar, tales como plantillas de documentos técnicos y funcionales. Dentro de estas plantillas se encuentra un formato de autoevaluación (Varkoi, 2018) en formato Microsoft Excel, que proporciona una pregunta por cada tarea del perfil básico de ISO/IEC 29110. Al finalizar el cuestionario se actualiza un gráfico de barras con el porcentaje de cumplimiento. Aunque es de muy fácil uso, no provee recomendaciones y se encuentra únicamente en inglés.

2.2.2 Encuesta de ISO 29110, CETIC

El Centre of Excellence in Information and Communication Technologies (CETIC) es una organización de investigación en ingeniería de *software* y proporciona entre sus servicios en línea (www.cetic.be) una encuesta web para evaluar a las empresas en el perfil básico de ISO 29110. El cuestionario provee preguntas genéricas relacionadas al desarrollo de *software* y, al finalizar el cuestionario, el usuario recibe un correo electrónico con recomendaciones para cumplir mejor con el estándar. Este sistema, a diferencia del anterior, sí provee sugerencias de mejora, pero igualmente se encuentra únicamente en inglés.

2.2.3 Herramienta de autoevaluación de ISO 29110, Upto25.net

Upto25.net (www.upto25.net) es un sitio *web* de difusión de temas de calidad de *software* orientado a pequeñas empresas, el cual proporciona dentro de sus servicios gratuitos una herramienta de autoevaluación para el perfil básico de ISO/IEC 29110. Este cuestionario es similar al Paquete de Despliegue mencionado anteriormente, con la diferencia de que el resultado de la evaluación produce una lista con el cumplimiento de las actividades calificadas con letras (N: no cumple, P: cumple parcialmente, A: cumple ampliamente, C: cumple totalmente). Este sistema provee un cuestionario en español pero no provee información gráfica y requiere que el usuario conozca modelos de evaluación para entender las calificaciones.

2.2.4 Otras herramientas

Existen otros trabajos relacionados, como el de Campos (2013) que traduce y adapta el Paquete de Despliegue de Autoevaluación al español, pero lamentablemente no existe un repositorio

donde se pueda ubicar el archivo Excel mencionado. Otro trabajo destacable es el de Andrade (2017) que propone una herramienta de evaluación en la web del perfil básico con *dashboards* y sugerencias, pero tampoco provee la ubicación de la herramienta, dando a entender que solamente es un trabajo teórico.

3. PROPUESTA

3.1 Comparación de herramientas

Con las herramientas de autoevaluación mencionadas anteriormente se procedió a realizar una comparación de sus características que se puede apreciar en la tabla 2. De esto podemos resaltar que, aunque existe una herramienta en español, solo se limita a evaluar el perfil básico, no muestra gráficas ni sugerencias y los resultados no son tan sencillos de interpretar como los de las otras herramientas.

Tabla 2

Comparación de herramientas de autoevaluación

Medio	Organización	Idiomas	Perfiles	Gráficas	Sugerencias	Dificultad
Excel	ISO	Inglés	Básico	Sí	No	Media
Web	CETIC	Inglés	Básico	No	Sí	Baja
Web	Upto25	Español/inglés	Básico	No	No	Alta

Elaboración propia

3.2 SAPPO

Por lo anteriormente mencionado se considera crear un nuevo sitio *web* permanente en la nube, en español, que permita la evaluación en los diferentes perfiles del estándar ISO/IEC 29110 de una forma sencilla, visual y con un motor de sugerencias, permitiéndole un entendimiento al usuario de las mejoras específicas que debe realizar en sus procesos. Complementariamente, el sitio *web* contendrá material educativo en español e inglés, accesible para personas que no tienen necesariamente conocimientos en estándares de calidad, con ejemplos didácticos y evitando el uso excesivo de tecnicismos.

3.2.1 Arquitectura

El Cloud Computing posee muchas ventajas en comparación con los servidores *on-premise*, tales como la ausencia de requerimientos de *hardware* y *software*, menor requerimiento de licencias, bajos costos de mantenimiento, flexibilidad y acceso mundial (Tabrizi e Ibrahim, 2017; Müller, Holm y Søndergaard, 2015; Avram, 2014; Xue y Xi, 2016). Adicionalmente las plataformas ofrecen muchos servicios complementarios (autenticación, mensajería, entre otros servicios) los cuales facilitan la implementación de aplicaciones y sitios *web*. Considerando estos factores, el nuevo sitio se implementará sobre una plataforma en la nube. Una arquitectura referencial propuesta para el nuevo sitio se muestra en la figura 2. No se detallará el aspecto técnico puesto que está fuera del alcance de este artículo.

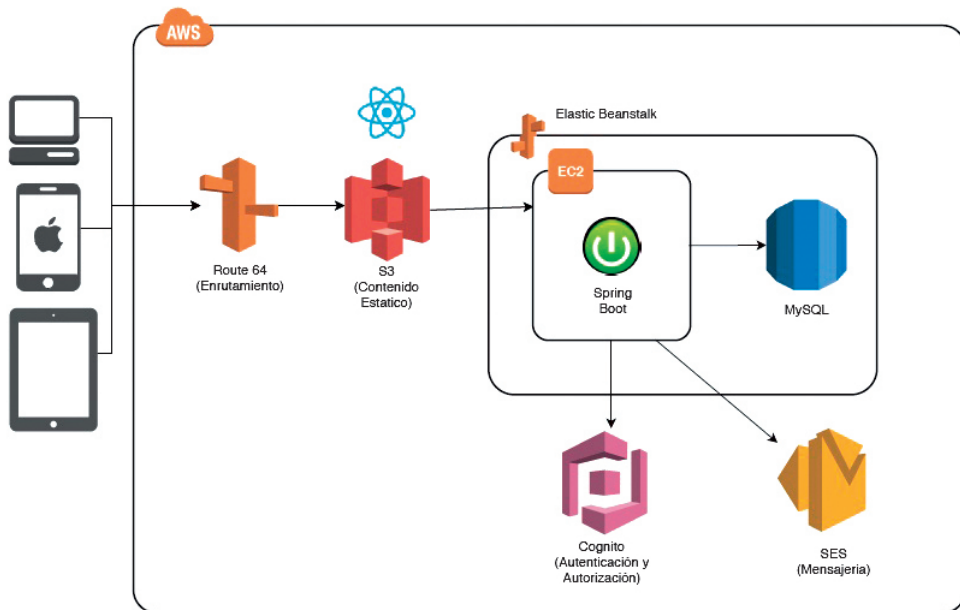


Figura 2. Arquitectura propuesta

Elaboración propia

3.3 Funcionamiento

La *web* será accesible desde el dominio www.mejoratalidaddesoftware.com vía protocolo seguro. En caso de que se trate de acceder por protocolo inseguro, automáticamente será redirigido al seguro. Se eligió este dominio y extensión por su facilidad para ser recordados.

La página será diseñada para permitir una navegación intuitiva y el diseño se adaptará al tamaño de la pantalla del dispositivo donde será visualizado. La página principal contendrá un video introductorio de un experto en el estándar y una sección de preguntas frecuentes. El

contenido principal está dividido en la descripción, estructura y utilización del estándar. El texto está elaborado de tal forma que los términos importantes del estándar están resaltados para una mejor identificación (figura 3).



Figura 3. Pantallas home, contenido y términos

Elaboración propia

El sistema de evaluación fue diseñado bajo la premisa de que fuera fácil de usar en todos los dispositivos en donde se visualice la web. Es por esto que se utilizan botones grandes en lugar de hipervínculos o botones de radio para elegir las opciones durante la evaluación. El flujo de evaluación está dividido en cinco pasos (figura 4):

- Instrucciones.
- Datos de la empresa a evaluar: nombre, número de empleados, ¿certificación futura?
- Selección del perfil.
- Preguntas.
- Resultados de la evaluación y sugerencias de mejora.



Figura 4. Pantallas elegir perfil, opciones y resultados
Elaboración propia

La metodología de evaluación utilizada será la propuesta en los Paquetes de Despliegue (Varkoi, 2018) para la autoevaluación en el perfil básico, pero se generalizará para aplicarla a los otros perfiles. Otro cambio importante es que se variará el estilo del cuestionario, realizando preguntas concretas sobre cada actividad en un lenguaje natural (tabla 3).

Tabla 3
Ejemplos de preguntas

ISO 29110	SAPPO
PM.1.1 Revisar el enunciado de trabajo.	¿Se revisa el enunciado de trabajo con el equipo?
PM.1.2 Definir con el cliente las instrucciones de entrega para cada uno de los entregables especificados en el enunciado de trabajo.	¿Se definen con el cliente las instrucciones de entrega para cada uno de los entregables especificados en el enunciado de trabajo?

Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

Se concluye que este trabajo ofrece una herramienta que supliría las limitaciones de las herramientas de autoevaluación existentes, facilitando a las empresas la detección de deficiencias en sus procesos de desarrollo y permitiendo la adopción del estándar ISO/IEC 29110 y de buenas prácticas de desarrollo de *software* en general. También se concluye que, aunque las iniciativas para promover los estándares de calidad en las pequeñas empresas son muy buenas, es necesario continuar con estas iniciativas puesto que las pequeñas empresas son un actor económico importante en la sociedad.

Como reflexión final consideramos importante promover un cambio cultural en las pequeñas empresas, desde dentro y desde fuera, para orientarlas a darle importancia a los estándares de calidad y sensibilizarlas sobre el valor que otorgan a la organización y a sus clientes.

REFERENCIAS

- Amable, M., Millones, R., y Checa, R. (2015). Calidad de software en las mypes productoras de software en Lima. En: *Memoria COMTEL* (pp. 133-139). Lima: Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- Andrade, A. (2017). *Ferramenta web para autoavaliação de aderência à norma ISO/IEC*. Tesis de bachillerato. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Avram, M.-G. (2014). Benefits of cloud computing: Literature review in a maturity model perspective. *Procedia Technology* 12, pp. 529-534.
- Campos, Y. (2013). *Desarrollo de una herramienta de auto-evaluación para el cumplimiento de ISO/IEC 29110: 5-1-2*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Laporte, C. Y., Alexandre, S., y O'Connor, R. V. (2008). A Software Engineering Lifecycle Standard for Very Small Enterprises. En: *Proceedings of EuroSPI 16*, pp. 129-141. Heidelberg: Springer.
- Laporte, C. Y., y O'Connor, R. V. (2016). Software process improvement in industry in a graduate software engineering curriculum. *Software Quality Professional Journal* 18(3).
- Merchán, L., Villa, L. B., y Sánchez, N. J. (junio de 2017). Guía de recomendación para la selección de un modelo de calidad para la mejora de procesos de software (SPI). *Revista Ciencias Estratégicas* 25(37), 25-51.
- Ministerio de Tecnología de la Información y las Comunicaciones-MINTIC (2018). Con apoyo del MINTIC 100 empresas TI se han certificado en modelos de calidad. *Portal del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, Colombia. Recuperado de <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-14174.html>

- Müller, S. D., Holm, S. R., y Søndergaard, J. (2015). Benefits of cloud computing: Literature review in a maturity model perspective. *Communications of the Association for Information Systems* 37, pp. 851-878.
- O'Connor, R. V., y Laporte, C. Y. (2017). The Evolution of the ISO/IEC 29110 Set of Standards and Guides. *International Journal of Information Technologies and Systems Approach* 10(1), 1-21.
- Programa para el Desarrollo de la Industria del Software-PROSOFT (2018). *Programa para el desarrollo de la industria del software*. México. Recuperado de <https://prosoft.economia.gob.mx/>
- Tabrizi, S. S., y Ibrahim, D. (2017). A Review on Cloud Computing and Internet of Things. World Academy of Science, *Engineering and Technology International Journal of Computer and Information Engineering* 11(4).
- Universidad de Lima (2018). *Workshop Internacional. Introducción a la norma ISO/IEC 29110*. Recuperado de [http://fresno.ulima.edu.pe/sf/sf_bd6500.nsf/default/6B3E8458A1ECA34305257A64006D6E3A/\\$file/Curso_ISO_29110.pdf](http://fresno.ulima.edu.pe/sf/sf_bd6500.nsf/default/6B3E8458A1ECA34305257A64006D6E3A/$file/Curso_ISO_29110.pdf)
- Varkoi, T. (2018). *Deployment Package Self-Assessment Basic profile*. Recuperado de <http://profs.etsmtl.ca/claporte/english/vse/deploy-pack/DP-Self-Assessment-V1.2.doc>
- Xue, C. T. S., y Xi, F. T.W. (2016). Benefits and challenges of the adoption of cloud computing in business. *International Journal on Cloud Computing: Services and Architecture (IJCCSA)* 6(6).

BIBLIOGRAFÍA

- Abran, A., Moore, J. W., Bourque, P., y Dupuis, R. (2004). *Guide to the software engineering body of knowledge*. New York: IEEE Computer Society Press.
- Laporte, C. Y. (2017). *La implementación de la norma ISO/IEC 29110. Guías de gestión e ingeniería para las organizaciones pequeñas*. Recuperado de https://www.gtcsas.com/wp-content/uploads/2017/03/Colombia_March_2017_CL0.pdf
- Laporte, C. Y., Alexandre, S., y Renault, A. (2008). The Application of International Software Engineering Standards in Very Small Enterprises. *Software Quality Professional* 10(3).

Sistema de generación de horarios para el *student self-scheduling*

Leo Wong

20141479@aloe.ulima.edu.pe / Universidad de Lima, Lima, Perú

Recepción: 28-6-2018 / Aceptación: 20-8-2018

RESUMEN. En el estado de la literatura, pocos autores han investigado sobre un sistema de recomendación de horarios para estudiantes universitarios; es decir, un sistema que resuelva el problema del *student self-scheduling*. Este problema es una variante del *student sectioning* para la asignación de horarios de tipo *master timetabling*. En esta variante se les brinda la libertad a los estudiantes de confeccionar sus propios horarios; ellos deben realizar varias iteraciones para combinar cursos-sección en búsqueda del mejor horario factible dadas sus preferencias. Se propuso un sistema de generación de horarios para ayudar a los alumnos mediante la sugerencia de varios horarios que consideren sus preferencias. Para ello se propuso el Wong Evolutionary Algorithm (WEA), un algoritmo evolutivo que logró generar varios resultados de calidad en una sola ejecución. Además, el prototipo del sistema fue altamente aceptado por los estudiantes evaluados gracias a la calidad de las soluciones generadas.

PALABRAS CLAVE: confección de horarios para estudiantes, horarios, sistema de recomendación, selección de cursos

Timetabling system for student self-scheduling

ABSTRACT. In the state of literature, few authors have investigated a schedule recommendation system for university students; that is, a system that solves the student self-scheduling problem. This problem is a variant of the student sectioning for the master timetabling classroom assignment. In this variant, students are offered the freedom to make their own schedules; they must perform several iterations to combine course-sections in the search for the best feasible schedule given their preferences. A system for the generation of schedules was proposed to help the students by presenting several schedules that consider their preferences. For this, the Wong Evolutionary Algorithm (WEA) was proposed, this is an evolutionary algorithm that achieved to produce several quality results in a single run. Besides, the prototype of the system was highly accepted by the evaluated students due to the quality of the generated solutions.

KEYWORDS: student self-scheduling, timetabling, recommender system, course selection

1. INTRODUCCIÓN

En muchas universidades con asignación de horarios de tipo *master timetabling* se posee un sistema de soporte a las decisiones que ayuda al personal administrativo a confeccionar horarios de clase de acuerdo a ciertas restricciones e incluso a asignar determinados alumnos a una sección de un determinado curso; en otras palabras, resuelve el *university course timetabling problem* (UCTP) (Carter y Laporte, 1998). Sin embargo, en el estado de la literatura revisado, pocos han investigado respecto a un sistema de generación automática de horarios para ayudar a los alumnos a seleccionar sus horarios en universidades o escuelas que permitan el *student self-scheduling*. El *student self-scheduling*, una variante del proceso de *student scheduling* en la asignación de horarios de tipo *master timetabling*, se basa en permitir a los alumnos confeccionar sus propios horarios que satisfagan sus necesidades mientras cumplen ciertas restricciones y poseen información de los cursos-sección, como el docente y el horario de clase (Kelly, 1979).

Los autores encontrados sobre el tema son Uslu, Ozturan y Uslu (2016), y Fatt *et al.* (2000). Los primeros desarrollaron un sistema que utiliza la programación lineal entera y el filtrado colaborativo basado en datos históricos de las selecciones y calificaciones de los alumnos. Por otro lado, Fatt *et al.* desarrollaron una aplicación que genera todas las posibles combinaciones de los cursos-sección con la implementación de un algoritmo que detecta solapamientos de horarios en un determinado día de la semana. Las aplicaciones mencionadas básicamente se diferencian en la calidad y cantidad de recomendaciones. Mientras que el primero solo se enfoca en la generación de recomendaciones de calidad, el segundo solo se enfoca en la generación de varios resultados. Debido a ello, el primero obtiene solo un resultado y el segundo obtiene varias recomendaciones sin calidad.

Por otro lado, existen temas cercanos que pueden servir de guía para la resolución del problema tratado, de los cuales destacan dos: el *educational timetabling problem* (ETP) y la recomendación de selección de cursos.

La primera cuestión relacionada es el ETP, el cual consiste en la programación de una secuencia de eventos que involucran a profesores y estudiantes en un lapso definido mientras se satisface una serie de restricciones (Schaerf y Di Gaspero, 2001). Uslu *et al.* (2016) se enfocaron en el uso de la programación lineal entera, pudiendo haber sido desarrollado con otros métodos que resuelvan el ETP. Este problema tiene diferentes clasificaciones (Babaei, Karimpour y Hadidi, 2015; Petrovic y Burke, 2004; Schaerf y Di Gaspero, 2001; Qu, Burke, McCollum, Merlot y Lee, 2009; Kristiansen y Stidsen, 2013) en las cuales no contempla explícitamente al *student self-scheduling* como una parte o variante de él, aun pudiendo cumplir con su definición. Por otro lado, existen investigaciones relacionadas al ETP que contemplan las preferencias de profesores y/o de estudiantes como una restricción blanda; al contemplarlas, elevan el nivel de dificultad del problema y, en algunos casos, las convierten en *NP-Complete* (Dostert, Politz y Schmitz, 2016).

Un problema del ETP que no ha tenido muchas investigaciones es el *student sectioning*, el cual también es llamado *student scheduling* por Sahin, Kellegoz y Kokhan (2016). Estos autores realizaron un estudio de caso del individual *student scheduling problem*, un subproblema del *student sectioning*. La diferencia entre este subproblema y el *student self-scheduling* consiste en que el primero toma en cuenta las preferencias de la institución; mientras que el segundo no. Esta diferencia es basada principalmente en la preferencia de distribuir equitativamente los estudiantes a secciones. Los autores propusieron una solución que permite el solapamiento de cursos-sección bajo ciertas condiciones usando la programación lineal entera multiobjetivo y considerando tanto las preferencias del área administrativa como las de los estudiantes.

Los métodos y algoritmos para resolver el ETP normalmente están segmentados bajo las categorías de este. Una clasificación de los métodos y algoritmos para resolver el UCTP, uno de los problemas principales del ETP, es la de Babaei *et al.* (2015). Esta clasificación segmenta a los algoritmos en los siguientes grupos: métodos de investigación de operaciones, métodos metaheurísticos, enfoques multiobjetivos, métodos de *intelligent novel* y el enfoque de *multi-agent systems*. Los principales enfoques para resolver este problema son los métodos de investigación de operaciones y métodos heurísticos o metaheurísticos (Tamayo, Campaña y Expósito, 2007). En los métodos de investigación de operaciones se poseen los métodos de programación lineal entera y programación de restricciones. En los métodos metaheurísticos se posee los métodos basados en una población inicial, como los algoritmos evolutivos (EA) y algoritmos genéticos (GA), colonia de hormigas y algoritmos meméticos, y los métodos basados en una sola solución, como la búsqueda tabú (TS), recocido simulado (SA), búsqueda local, *variable neighborhood search algorithm* y *randomized iterative improvement with composite neighborhood algorithm*.

Además, Babaei *et al.* (2015) realizaron una comparación con 66 diferentes algoritmos. En su estudio se concluye que, generalmente, el algoritmo de colonias de hormigas posee mejor rendimiento que otros algoritmos. Por otro lado, se concluye que, generalmente, el algoritmo genético posee peor rendimiento en todo tipo de base de datos. Sin embargo, actualmente, los algoritmos genéticos y otros relacionados a los EA son ampliamente utilizados en la optimización multiobjetivo (Zhang, Tian y Jin, 2005). Además, existen variantes del algoritmo genético que, si bien pueden convertir al algoritmo a memético o híbrido, resultan ser altamente competitivas frente a otros algoritmos. Un ejemplo de una variante es el algoritmo propuesto por Yang y Jat (2011), el cual un método híbrido basado en un *steady-state genetic algorithm* guiado por la búsqueda local (LS), que consiguió ser competitivo frente a los métodos de SA, TS y otros basados en LS.

La segunda cuestión es el sistema de recomendación de selección de cursos. La selección de cursos (*course selection*) es un proceso de toma de decisiones de carácter secuencial, donde la selección de un curso modifica los criterios de selección del próximo. Este proceso tiene la

finalidad de escoger un grupo de cursos que conforma el horario para un ciclo (Babad y Tayeb, 2003). Ante la difícil toma de decisiones y debido a que las decisiones son interdependientes e involucran las preferencias de los alumnos, se han diseñado sistemas de recomendación para cursos individuales. Es decir, en estos sistemas, la recomendación de un curso no influye en las otras recomendaciones. Para ello, se han investigado la utilización de sistemas de recomendación, en los cuales destacan los métodos basados en filtrado colaborativo y basados en contenido, y las técnicas de data mining y machine learning (Al-Badarenah y Alsakran, 2016; Unelsrød, 2011). Por ejemplo, Vialardi, Bravo, Shafti y Ortigosa (2009) propusieron un método de recomendación de cursos considerando la demografía, la matrícula de cursos, el número de cursos por semestre, el promedio de notas y el historial de notas de los estudiantes utilizando técnicas de minería de datos; con lo cual consiguieron 77,3 % de precisión al aplicarlo en la Universidad de Lima. Otro caso es el de Uslu *et al.* (2016), quienes propusieron un sistema de recomendación de cursos basado en el filtrado colaborativo.

2. METODOLOGÍA

La Universidad de Lima fue considerada como universidad modelo para el análisis de las restricciones. Se estimaron como restricciones duras el cruce de horario y la posibilidad de tener solo una sección por curso, y como restricciones blandas, las principales preferencias de los alumnos, que fueron obtenidas mediante un análisis cualitativo en Facebook. Se implementó la generación de horarios basándose en el algoritmo básico de los EA, en este caso, el algoritmo utilizado se puede clasificar como memético. Sin embargo, se decidió mantener la clasificación genérica del algoritmo propuesto como EA y se etiquetó como Wong Evolutionary Algorithm (WEA). Por otro lado, el algoritmo puede clasificarse como un algoritmo de recomendación de tipo *knowledge-based* debido que utiliza el conocimiento puesto en la función objetivo.

Se diseñó el algoritmo de tal forma que intente mantener soluciones completas en cada generación; es decir, el algoritmo llena el cromosoma de genes que agreguen valor a la puntuación y sean compatibles con los otros genes. Para ello, se manejaron las restricciones duras mediante el mantenimiento de las soluciones factibles, lo cual fue implementado con la modificación de los operadores de mutación y de cruzamiento. Ante la posible pérdida de genes por los operadores mencionados, se adicionó el operador de *hill-climbing* (búsqueda local), el cual posee como principal función el llenado del cromosoma con genes compatibles (figura 1).

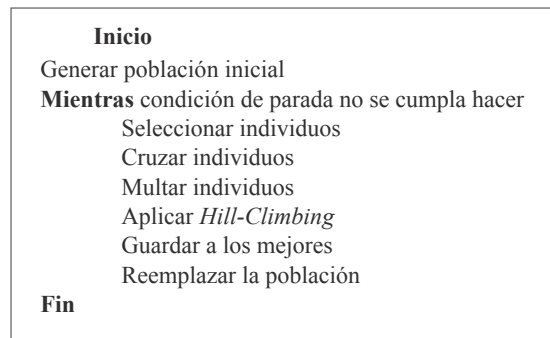


Figura 1. Algoritmo WEA
Elaboración propia

La función de evaluación (función de *fitness*) fue elaborada a partir de métodos deductivos. Ante la posibilidad de que la puntuación no refleje las preferencias de un alumno en particular, la falta de calibración de pesos y la incertidumbre de distribución de sus soluciones preferidas; se optó por guardar a las soluciones con mayor puntaje de evaluación (incluyendo soluciones dominadas) en el “histórico de mejores”. En las siguientes líneas se brindan algunos de los conceptos utilizados por el algoritmo WEA.

- **Genotipo:** Arreglo de cursos-sección de longitud fija, en el cual los índices corresponden a cada curso. El cromosoma puede tener espacios vacíos (figura 2).

Curso 1	Curso 2	Curso 3	Curso 4	Curso 5	Curso 6	Curso 7
Curso 1 Sección 4	Curso 2 Sección 3		Curso 4 Sección 1	Curso 5 Sección 8	Curso 6 Sección 8	

Figura 2. Ejemplo de la representación del genotipo
Elaboración propia

- **Cruzamiento:** *Uniform crossover* modificado para generar solo *offspring* factibles. Se implementó una alta probabilidad de sesgo para mitigar la pérdida de información (figura 3).
- **Mutación:** *Random resetting* modificado para mantener la factibilidad (figura 3).
- **Hill-climbing:** Búsqueda local estocástica que escala con una función de *roulette wheel* basada en el incremento de la puntuación mediante la inserción de genes en espacios vacíos hasta obtener un máximo local (figura 3).
- **Selección de padres:** *Tournament selection*.
- **Reemplazo de la población:** *Generational replacement model* con elitismo.

- **Histórico de mejores:** Arreglo de longitud fija donde se guardan las mejores soluciones. Al finalizar la ejecución se muestra este arreglo.
- **Condición de parada:** Se implementaron dos criterios para la condición de parada: 1) un límite de iteraciones y 2) un límite de no renovación del histórico de mejores.
- **Función de *fitness*:** La puntuación es calculada mediante el método de suma ponderada $\sum_k^o \omega_k o_k$. Se modeló cada objetivo O_k mediante la utilización de un indicador relacionado a una preferencia de los alumnos; las preferencias fueron obtenidas en el análisis cualitativo. Los objetivos O_2, O_3, O_4 y O_5 corresponden a objetivos de minimización. Por otro lado, los objetivos O_1 y O_6 corresponden a objetivos de maximización.
 - **O_1 :** Suma de *rating* de los profesores considerados en la solución. Corresponde a la preferencia de llevar cursos-secciones con profesores recomendados.
 - **O_2 :** Cantidad de horas de hueco presentes en el horario de la solución. Corresponde a la preferencia de tener la menor cantidad posible de horas de hueco.
 - **O_3 :** Suma del exceso de dificultad de cada día del horario de la solución. Corresponde a la preferencia de tener una dificultad balanceada en cada día.
 - **O_4 :** Penalización total por la asignación de horas no deseadas en el horario de la solución. Corresponde a la preferencia de tener la menor cantidad posible de horas no deseadas.
 - **O_5 :** Cantidad de exceso o déficit de cursos con respecto a la cantidad deseada. Corresponde a la preferencia de llevar un determinado número de cursos.
 - **O_6 :** Bonificación total por incluir los cursos prioritarios. Corresponde a la preferencia del alumno por determinados cursos

Para la validación se realizó una prueba de desempeño y una prueba de aceptación. En la prueba de desempeño se utilizaron los 20 cursos entre tercer y quinto ciclo de la carrera de ingeniería industrial del ciclo 2018-1 debido a su alta cantidad de secciones por curso. Se utilizó un muestreo estratificado de 30 ejecuciones por cada cantidad de cursos, el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) y un nivel de confianza de 95 %. Por otro lado, para el criterio de parada, se utilizó una máxima cantidad de generaciones en 10 000 y una máxima cantidad de generaciones de no cambio del histórico de mejores en 100, siendo su tamaño de 50. La prueba de aceptación consistió en un *focus group* y una prueba piloto con 4 alumnos de las carreras de ingeniería industrial y de sistemas entre quinto y octavo ciclos.

<p>Cruzamiento</p> <p>Inicio Obtener padreA, padreB Inicializar offspringA, offspringB Obtener arreglo de índices aleatorios del cromosoma</p> <p>Para cada i en arreglo hacer Si $\text{random } 0 > \text{PROB_BIAS}$ entonces genA \leftarrow padreA [i] genB \leftarrow padreB [i] Sino genA \leftarrow padreB [i] genB \leftarrow padreA [i] Fin Si Si offspringA es compatible con genA entonces offspringA [i] \leftarrow genA Fin Si Si offspringB es compatible con genB entonces offspringB [i] \leftarrow genB Fin Si</p> <p>Fin Para Devolver offspringA, offspringB Fin</p>	<p>Mutación</p> <p>Inicio Obtener cromosoma nuevoGen \leftarrow obtener gen aleatorio</p> <p>Para cada gen en cromosoma hacer Si gen no es compatible con nuevoGen entonces Eliminar gen del cromosoma Fin Si</p> <p>Fin Para Insertar nuevoGen en el cromosoma Devolver cromosoma Fin</p> <hr/> <p>Hill-Climbing</p> <p>Inicio Obtener individuo finLoop \leftarrow Falso mejoras \leftarrow obtener todas las posibles mejoras mediante la inserción de genes en espacios vacíos Si mejoras.tamaño > 0 entonces Mejora \leftarrow RouletteWheel(mejoras // basado en el incremento) Individuo \leftarrow Mejora Sino finLoop \leftarrow Verdadero Fin Si</p> <p>Fin Mientras Devolver individuo Fin</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

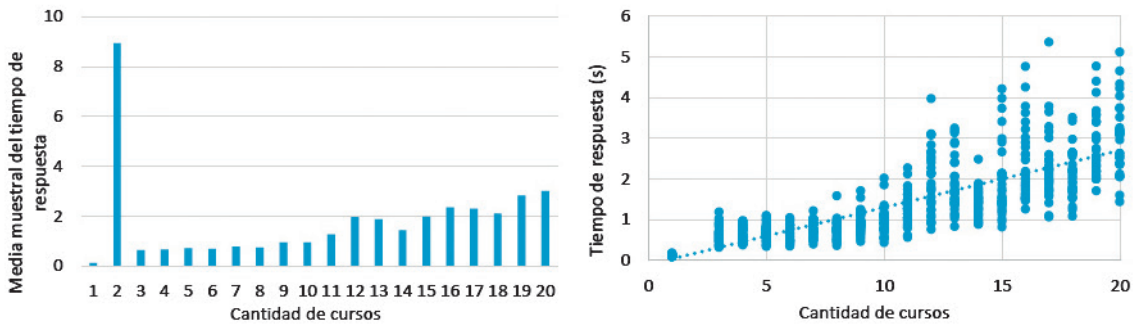
Figura 3. Operadores modificados del WEA
Elaboración propia

3. RESULTADOS

En los resultados se observa un caso excepcional cuando la cantidad de cursos es igual a dos, donde se obtuvo la mayor media muestral del promedio de la cantidad de generaciones (siempre al máximo) y del tiempo de respuesta (8,93 s). Debido a ello, se exceptuará este caso en algunos análisis. Este fenómeno es causado por el comportamiento del criterio de parada con pocos cursos-sección, en el cual se posee la condición de detener la ejecución cuando el histórico de mejores no cambie en 100 generaciones consecutivas. Posiblemente el criterio mencionado es reiniciado principalmente debido al uso de la función de *roulette wheel* para la selección de genes, el cual normalmente selecciona a los mejores del individuo. Al seleccionar los mejores

genes y tener pocas combinaciones, normalmente se produce una solución de puntuación alta que ya está dentro del histórico de mejores, por lo que el histórico de mejores normalmente queda relativamente vacío. Entonces, a veces se produce una solución de baja puntuación que puede insertarse dentro del histórico de mejores, lo cual reinicia la condición de criterio de parada mencionado. De igual forma, esta condición puede reiniciarse debido a los operadores de mutación y de cruzamiento.

Exceptuando el caso mencionado, el coeficiente de correlación lineal entre el tiempo de respuesta y cantidad de cursos es de $0,79 \pm 0,03$. Debido a ello, se puede afirmar que, generalmente, a medida que se incrementa la cantidad de cursos, el tiempo de respuesta se incrementa (figura 4).



Nota: En el gráfico de la derecha se exceptúa el caso mencionado.

Figura 4. Correlación entre el tiempo de respuesta y la cantidad de cursos
Elaboración propia

La cantidad de cursos posee un coeficiente de correlación lineal de 0,79 con el coeficiente de variación muestral de puntuación; por lo que se puede afirmar que, generalmente, a mayor cantidad de cursos el sistema es menos fiable. Además se posee una cantidad de generaciones relativamente baja. Dada la creciente variación y la relativa poca cantidad de generaciones, posiblemente el algoritmo sea susceptible a una convergencia prematura dado al operador de *hill-climbing* que escala hasta obtener un máximo local (figura 5).

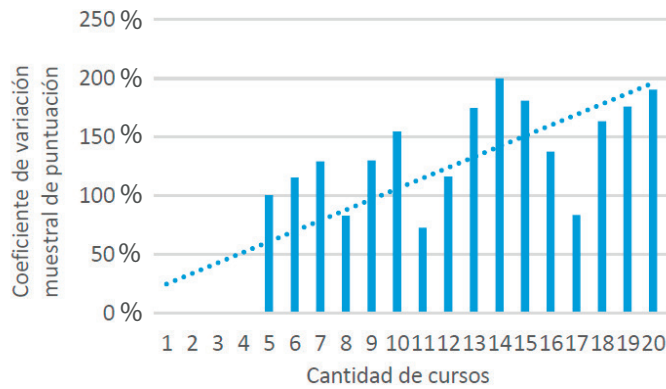


Figura 5. Línea de tendencia entre el coeficiente de variación de puntuación y la cantidad de cursos

Elaboración propia

En la prueba de aceptación, los participantes expresaron opiniones positivas respecto al prototipo en cuanto al desempeño en términos de calidad de soluciones y tiempo de respuesta. Esto es debido a que se consideraron las principales preferencias de ellos, el tiempo de respuesta fue menor a un segundo y ellos encontraron su horario dentro de las primeras recomendaciones o un horario mejor. Por otro lado, los participantes recomendaron una mejora respecto a la usabilidad del programa debido a las complicadas opciones para el manejo de los datos de entrada y los pesos (figura 6).



Nota: Los pesos correspondientes a objetivos de minimización son cambiados a valores negativos durante la ejecución.

Figura 6. Interfaz gráfica del prototipo

Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

El Wong Evolutionary Algorithm (WEA) logra producir varias soluciones de calidad con un desempeño aceptable bajo características correspondientes a un ciclo regular y con una cantidad de cursos de alrededor de cinco. No se realizó un análisis de dominancia ante la incertidumbre de la ubicación de la solución preferida de los alumnos. Debido a que el histórico de mejores no suele variar una vez halladas las soluciones que se tiende a generar en una ejecución con una cantidad de cursos-sección moderada o alta, se espera que la ejecución se termine cuando se cumple el segundo criterio de parada. Dada la creciente variación y la relativa poca cantidad de generaciones por cantidad de cursos, posiblemente el algoritmo es susceptible a una convergencia prematura debido al operador de *hill-climbing*, que escala hasta obtener un máximo local, o a que algún parámetro del WEA necesita un ajuste. Los resultados de la prueba de aceptación demostraron la viabilidad del sistema de generación de horarios. Sin embargo, la aceptación puede variar según el nivel, los cursos y secciones a llevar, la carrera del estudiante y sus preferencias respectivas. Debido a ello, se debe realizar un análisis más profundo, considerando un mayor rango y mejor distribución de participantes.

Para trabajos futuros se puede analizar el cambio de parámetros para potenciar el WEA e incorporar nuevos criterios de parada para evitar los casos que no terminan la ejecución en el segundo criterio. Además se puede realizar un análisis de dominancia para estudiar la distribución de los resultados del WEA y los resultados seleccionados por los alumnos. Para ello, posiblemente se puede adaptar el WEA mediante la utilización de técnicas del *multi-objective memetic optimization* (MOMO) u otras del *evolutionary multi-objective optimization* (EMO). Asimismo, se puede investigar la utilización de otra técnica o método de confección de horarios para el *student self-scheduling*. Incluso se pueden incorporar módulos o componentes anexos al sistema de generación de horarios; por ejemplo, un módulo de recomendación de profesores, de cursos-sección y/o de cursos, o un módulo de calibración de pesos, y un módulo de calibración de pesos o generación de la función de evaluación. Por otro lado, se puede investigar la aplicación del WEA en otros problemas de optimización combinatoria. Se cree que se puede aplicar a problemas de grafos no dirigidos con modificaciones mínimas; por ejemplo, el problema del máximo clique.

REFERENCIAS

- Al-Badarenah, A., y Alsakran, J. (2016). An Automated Recommender System for Course Selection. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 7(3), pp. 166-175. DOI:10.14569/ijacsa.2016.070323
- Babad, E., y Tayeb, A. (2003). Experimental analysis of students' course selection. *British Journal of Educational Psychology* 73(3), 373-393. DOI:10.1348/000709903322275894

- Babaei, H., Karimpour, J., y Hadidi, A. (2015). A survey of approaches for university course timetabling problem. *Computers & Industrial Engineering* 86, pp. 43-59. DOI: 10.1016/j.cie.2014.11.010
- Carter, M. W., y Laporte, G. (1998). Recent developments in practical course timetabling. En: Burke, E., y Carter, M. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science: Vol. 1408. Practice and Theory of Automated Timetabling II* (pp. 3-19). Toronto: Springer. DOI:10.1007/bfb0055878
- Dostert, M., Politz, A., y Schmitz, H. (2016). A complexity analysis and an algorithmic approach to student sectioning in existing timetables. *Journal of Scheduling* 19(3), pp. 285-293. DOI:10.1007/s10951-015-0424-2
- Fatt, A. C. M., Kee, C. W., Heong, L. C., Seng, N. H., Har, K. N. S., Ni, P. S. ..., y Prakash, E. C. (2000). Software engineering approach for a timetable generator. En: *TENCON 2000. Proceedings* 3, pp. 147-150. IEEE. DOI:10.1109/TENCON.2000.892240
- Kelly, L. K. (1979). Student Self-Scheduling —Is It Worth the Risk? *NASSP Bulletin (BUL)*, 63(424), pp. 84-91. DOI:10.1177/019263657906342414
- Kristiansen, S., y Stidsen, T. R. (2013). *A Comprehensive Study of Educational Timetabling, a Survey* (Informe de DTU Management Engineering Report N.o 8.2013). Recuperado de http://orbit.dtu.dk/files/60366101/A_Comprehensive_Study.pdf
- Petrovic, S., y Burke, E. K. (2004). University Timetabling. En: Leung, J. (Ed.), *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/acf8/6f8bf8bab064a34e9c1c0b258ec0896bf46c.pdf>
- Qu, R., Burke, E. K., McCollum, B., Merlot, L. T., y Lee, S. Y. (2009). A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling. *Journal of Scheduling*, 12(1), 55-89. DOI:10.1007/s10951-008-0077-5
- Sahin, M., Kellegoz, T., y Kokhan, S. (2016). A multi-objective decision making model for class selection problem: a case study. *The Eurasia Proceedings of Educational & Social Sciences* 5, pp. 145-190. Recuperado de <http://dergipark.gov.tr/epess/issue/30752/334511>
- Schaerf, A., y Di Gaspero, L. (2001, September). Local search techniques for educational timetabling problems. En: *Proceedings of the 6th International Symposium on Operational Research (SOR-01)* (pp. 13-23). Preddvor, Slovenia.
- Tamayo, S., Campaña, C., y Expósito, C. (2007). Alternativa para el proceso de planificación de horarios docentes de una Universidad. *Ciencias Holguín* 13(4). Recuperado de <http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/411>
- Unelsrød, H. F. (2011). *Design and Evaluation of a Recommender System for Course Selection*. Tesis de maestría. Norwegian University of Science and Technology. Recuperado de <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/252564>

- Uslu, S., Ozturan, C., y Uslu, M. F. (2016). Course scheduler and recommendation system for students. En: *2016 IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies* (pp. 1-6). Bakú, Azerbaiyán: IEEE. DOI:10.1109/ICAICT.2016.7991812
- Vialardi, C., Bravo, J., Shafti, L., y Ortigosa, A. (2009). Recommendation in Higher Education Using Data Mining Techniques. *International Working Group on Educational Data Mining*, pp. 190-199. Córdoba, España. Recuperado de <http://www.educationaldatamining.org/EDM2009/uploads/proceedings/vialardi.pdf>
- Yang, S., y Jat, S. N. (2011). Genetic algorithms with guided and local search strategies for university course timetabling. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 41(1), pp. 93-106.
- Zhang, X., Tian, Y., y Jin, Y. (2015). A knee point-driven evolutionary algorithm for many-objective optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 19(6), 761-776. DOI:10.1109/TEVC.2014.2378512

A life cycle for creating an uncomplicated software

Michael Dorin

mike.dorin@stthomas.edu / Universität Würzburg, Würzburg, Germany

Sergio Montenegro

sergio.montenegro@uni-wuerzburg.de / Universität Würzburg, Würzburg, Germany

Receipt: 1-7-2018 / Acceptance: 20-8-2018

ABSTRACT. Modern software development life cycle models tend to be less formal and less rigid than Waterfall based models of the past. However, creating software without following even the most basic of plans often results in poorly structured, faulty, and hard to maintain software. This paper proposes a practical development model for the purpose of software development. Following some sort of plan produces better code than no plan at all. This model has been shown to be successful even with inexperienced developers.

KEYWORDS: software development, life cycle model, waterfall, agile, RUP, uncomplicated software

Un ciclo de vida para crear un *software* no complicado

RESUMEN. Los modelos de ciclo de desarrollo de *software* moderno tienden a ser menos formales y menos rígidos que los modelos basados en cascada del pasado. Sin embargo, crear *software* sin seguir un plan básico frecuentemente trae como resultado *software* de pobre estructura, con fallas y difícil de mantener. En este documento se plantea un método práctico con el propósito de desarrollar *software*. Seguir cierto orden en el plan producirá mejor código que no seguir ningún plan. Este modelo ha mostrado ser exitoso incluso con los desarrolladores inexpertos.

PALABRAS CLAVE: desarrollo de *software*, modelo ciclo de vida, cascada, ágil, RUP, *software* de código legible

1. INTRODUCTION

Software complexity is an expensive and important topic in the field of software engineering. Complicated software has been shown to contain more defects than uncomplicated software.

Research demonstrates a 50 percent decline of developer productivity as the software gets more complicated. Staff turnover also increases when complicated software is part of the environment (Sturtevant, MacCormack, Magee, & Baldwin, 2013). Software complexity is said to contribute to 25 percent of the maintenance costs of a software project and 17 percent of the overall cost of the development effort (Banker, Datar, Kemerer, & Zweig, 1993).

One of the causes of complicated software is the absence of planning when a project begins (Foote & Yoder, 1997). In the popular Agile life cycle model, development of software architecture is not specifically mentioned. The Waterfall life cycle model does accommodate architecture design, but in general Waterfall has been considered too overbearing and inflexible for many projects.

Establishing an architecture is not a new concept and there are many established architectural design patterns which can be used as a basis for a system (Larman, 2012). By providing toolkits, Apple and Google have established architectures for designing applications. This has led to millions of applications being created.

The model described in this paper will lead to less complicated software by creation of a design before coding begins. Through requiring some upfront work before a project starts, a team can establish a flexible architecture and reduce software complexity. To verify the efficacy of this model, students at the University of St. Thomas were instructed to design an application using the steps described in this paper.

2. CURRENT PRACTICE IN LIFE CYCLE MODELS

A short review of current life cycle models is helpful for understanding what is presently done and what is missing for current methodologies.

2.1 Waterfall

A survey by TechBeacon shows 9 percent of organizations use Waterfall or lean towards Waterfall (Jeremiah, 2018). When the software crisis was first identified the Waterfall life cycle model emerged as a potential solution and become popular (Schach, 2007). The Waterfall model is characterized by phases which have a well-defined beginning and end.

There are phases for requirements gathering, analysis, design, implementation, and testing. The cornerstone of Waterfall is that developers do not move from one phase to the

next until they have completed the current phase (Schach, 2007). Over time, it was determined Waterfall was not ideal for all projects because of inflexibility adapting to changing requirements (Zhang, Hu, Dai, & Li, 2010). However, the strengths of Waterfall should not be overlooked as it is a good fit for projects that cannot be iterative, such as some aerospace or medical devices. When a Waterfall project is done well and by a disciplined team, high quality documentation is produced, and an architecture is well defined (Singhto & Phakdee, 2016).

2.2 Agile

Because of the inflexibility of Waterfall, more modern methods of developing software were desired and Agile was created. In fact, the principles of Agile have become firmly accepted. According to TeachBeacon, 67 percent of projects are pure Agile or leaning towards Agile (Jeremiah, 2018). Agile is not a software development life cycle model in the sense of giving a checklist of activities to perform, but instead the Agile principles form guidelines for developing software (Beck et al., 2001). It is commonly accepted in Agile that software requirements and architecture evolve through a collaborative effort of self-organizing teams (Williams, 2012).

Scrum has become a very popular form of Agile in recent years and 50 percent of Agile developers use scrum (Alliance, 2015). Scrum is a very iterative and incremental process which encourages each deliverable to be something useful towards accomplishing the desired task.

This approach gives stakeholders an opportunity to see a working product in near real-time and comment on aspects that are deficient. A video introduction to Scrum suggested a model where if you are building a car, your first two-week sprint may deliver a skateboard, then a scooter, then a bike, then a motorcycle, then a car. (Henrikkniberg, 2012) In principal, this is a good idea, however, in many cases the architecture that evolves is not sufficient for the task and an overly complex system emerges. For example, though a skateboard is a mode of transportation, a skateboard will not provide a sufficient foundation for a car.

Agile more defines the personality of the team than the process by which the work is done and omits a mandate for doing analysis and design. Other Agile disciplines such as Scrum give more detail on the process but are still missing definition of how work flows should actually happen. In fact, Agile disciplines can be thought to tacitly discourage documentation through putting more emphasis on people rather than processes (Nerur, Mahapatra, & Mangalaraj, 2005).

2.3 Rational Unified Process (RUP)

The Rational Unified Process (RUP) is considered by some to be a hybrid of Waterfall and Agile. It is iterative and incremental (Agile) but defines phases with specific deliverables. The Rational Unified Process has four phases, Inception, Elaboration, Construction, and Transition. Activities in the four phases are made up of the work flows. In the Inception phase, the project

is launched, and heavy emphasis is place on requirements gathering. The emphasis moves to analysis and design in the Elaboration phase and programming during the Construction phase. The project finishes up with a Transition phase where documentation is finished, and final acceptance testing is completed. RUP allows the defined work flows and their associated activities to be conducted at any time during the project regardless of the current phase. It has been accused of being too rigid and indeed Craig Larman, an advocate of RUP, warns engineers to be careful of rigidity in RUP projects. (Larman, Kruchten, & Bittner, 2001).

3. PROPOSED LIFE CYCLE MODEL

Less complicated software is easier to review (Dorin, 2018). Additionally, code reviews and inspections are the least expensive way to detect faults (Basili & Selby, 1987). What is proposed here is to combine positive aspects of Waterfall and RUP to create a new Agile Software Development Life Cycle model which encourages implementation of less complicated code.

Antoine de Saint-Exupéry said, “A goal without a plan is just a wish.” As the current state- of-the-art methodologies do not suggest a plan for designing an architecture, it often seems good architecture is often just wishful thinking. This Life Cycle Model is broken up into sections, but it is essential to keep in mind that since this is process is iterative and incremental, each of the parts should be further managed using time-boxed intervals, known as sprints, as done in Scrum.

3.1 Part 1. Kickoff

Each project will begin with a kickoff, which will make up the first sprint of the project. It is recommended the kickoff does not exceed one sprint, as taking longer may push the project towards Waterfall. A kickoff document needs to be created and approved as the project starts and should contain the content described below.

3.1.1 *Vision Paragraph*

It is important to be able to describe what the product is going to do. This should be possible to do in one or two paragraphs. The vision paragraph should quickly describe what the application is going to do and the benefits.

3.1.2 *Boundaries Paragraph*

The boundaries paragraph is equally as important as the vision paragraph. The boundaries paragraph needs to describe where development will stop. For example, the boundaries

paragraph may say that “the first version will not include this specific feature.” Or it may say, the first version will only be written for Android devices and will not run on an Apple device.

3.1.3 Requirements

Requirements should be very customer centric and should be written from the perspective of user stories. User stories should be in the form of: “As a [type of user], I want [some goal] so I can [some reason] (Cohn, 2018). User stories need not be more complicated than that. Creating user stories should be a social activity which generates as many user stories as can be thought of. It is important that you do not omit the “so I can” clause as this is often important later to determine the context of the user story. As user stories are written, assign points to them based on their complexity. These points will be necessary for generating an initial cost estimate for development.

3.1.4 Business Case and Initial Cost Estimate

A large collection of completed user stories will be needed, but it is then possible to get a rough idea of what the project is going to cost. There are many ways of doing estimations, but the easiest way seems to be assigning points to each user story and creating a multiplier based on how much time or money each point means. For example, if the points in your user stories total to 10,000, and it is estimated it to take three hours of development time per point, you can roughly estimate the project will take 30,000 hours of development time.

It is not the purpose of this document to describe how a business plan should be modeled, but minimally the software needs to pay for itself somehow. If it is believed that writing the software will save money for an organization, this should be documented here. If it is believed that the software will make a good product, this should be documented and supported here as well. Business risks, such as marketability of a software product should also be included here.

It is important to have sufficient background information to be able to make a buy or build decision, and this decision should be made before leaving the kickoff phase.

3.1.5 Technical Risks

At the beginning of a project technical risks should be addressed. For example, if a team has never worked with a specific hardware device, it should be recorded so a plan can be made on how to deal with it. If a team has never programmed on Android before and the project is an Android application, this is a risk that should be included and managed. Risks such as turnover of engineers or popularity of the project do not belong here as these are business risks and belong in the business case.

3.1.6 Nonfunctional Requirements

Non-functional requirements are how a system is judged when complete. If a system is to be secure, specify a non-functional requirement indicating that. Non-functional requirements can certainly inspire several functional requirements. Packaging requirements, legal requirements, and ease of use requirements are also examples of non-functional requirements.

3.1.7 Glossary

A glossary is very important. Domain specific terms need to be listed and described here. This is not a clearinghouse for obvious words, but if a group is doing software in a new field, a central location for terminology needs to be created so team members are not constantly struggling to understand terminology. For example, if a project is in anesthesiology, important anesthesiology terms need to be included in the glossary.

3.2 Part 2. Analysis and Design

Once the kickoff document is complete, analysis and design can begin. Note, that as the breakdown happens, it is highly possible that new requirements are discovered. This entire model is Agile, and it is possible for new items to be added and existing items changed during the project. The analysis and design phase should be carried out in about two sprints. The sprint limit once again, is to discourage accidental shifting to a Waterfall life cycle. These sprints can be managed as best for an organization, but it is suggested the first sprint deals with risk mitigation, completion of the user stories, and the rehearsal. The second sprint should review the results of the first sprint and create the UML architecture diagrams from the rehearsal.

3.2.1 Risk Mitigation

At this point a plan is needed to mitigate all the risks listed in the kickoff document. For example, it may be beneficial to do a proof-of-concept prototype demonstrating the capacity to handle a technical risk. It may also be that additional training is scheduled or that outside consults are brought in. The important thing is that the risks are mitigated and do not become “brick walls” as the project progresses.

3.2.2 Rehearsal

For more information on this topic, see the companion paper on simplifying the design workflow. Many military organizations perform a rehearsal walk through to make sure parties understand what is being planned. This is also an important tool for software development.

During the rehearsal expected actions are practiced improving performance during execution. This rehearsal is important as it allow participants to become familiar with the operation. The entire plan should be rehearsed by the stakeholders. A team needs to be able to rehearse how the system as going to work. If that is not possible, it is very likely there is not sufficient understanding of the problem for a proper implementation.

A natural architectural design pattern for this analysis method is Model-View-Controller (MVC). Within MVC, the model manages the application data while the view provides the output of information to users. The controller is in charge of operations, it accepts input and sends commands to the model and the view (Rosenbloom, 2018).

Before a rehearsal begins, participants select actors to deal with interactions with users, actors to deal with storing and updating of data, and finally an actor to be a leader. This staging describes the MVC architectural pattern. The MVC pattern nicely separates control from user interactions and maintenance and updating of data.

3.2.3 UML Sequence and Class Diagrams (*Architecture Definition*)

The Unified Modeling Language (UML) defines a standard set of diagrams helpful for creating a system (Larman et al., 2001). UML sequence diagrams can be drawn up visually describing the actions settled on by the rehearsal. It is not necessary that all aspects of UML are perfect in this diagram, it is more important that a flow is shown. An example of a sequence diagram is shown in figure 1.

In the Unified Modeling Language, class diagrams show the relations and dependencies among classes. When the sequence diagram is complete, it is very easy to create a class diagram in which methods are apparent and the overall structure of the architecture emerges. An example of a class diagram is shown in figure 2.

Based on the flow of events observed in the rehearsal, a UML sequence diagram should be created. When satisfied with the sequence diagram, a class diagram should be created which will provide an initial candidate architecture for the project.

It has been shown that creating UML diagrams has a positive effect on defect density (Nugroho & Chaudron, 2009) and program correctness (Hurme et al., 2011).

3.3 Part 3. Implementation

At this point the coding can begin in earnest as the architecture is not just wishful thinking. Implementation can follow any development model a team is comfortable with. If a team is doing a form of Kanban, Post-it notes can be put up and developers can select and implement the feature described. With the architecture defined coding can follow an established path.

Other required documentation such as users' guides should be written and completed during implementation. Software testing should be ongoing during implementation. At the end of implementation there may be some final acceptance tests to be run, but there should be no surprises as testing is an ongoing work-flow. Implementation should be carried out over many sprints and, as once again since this is an Agile process, analysis and design activities are also performed as necessary.

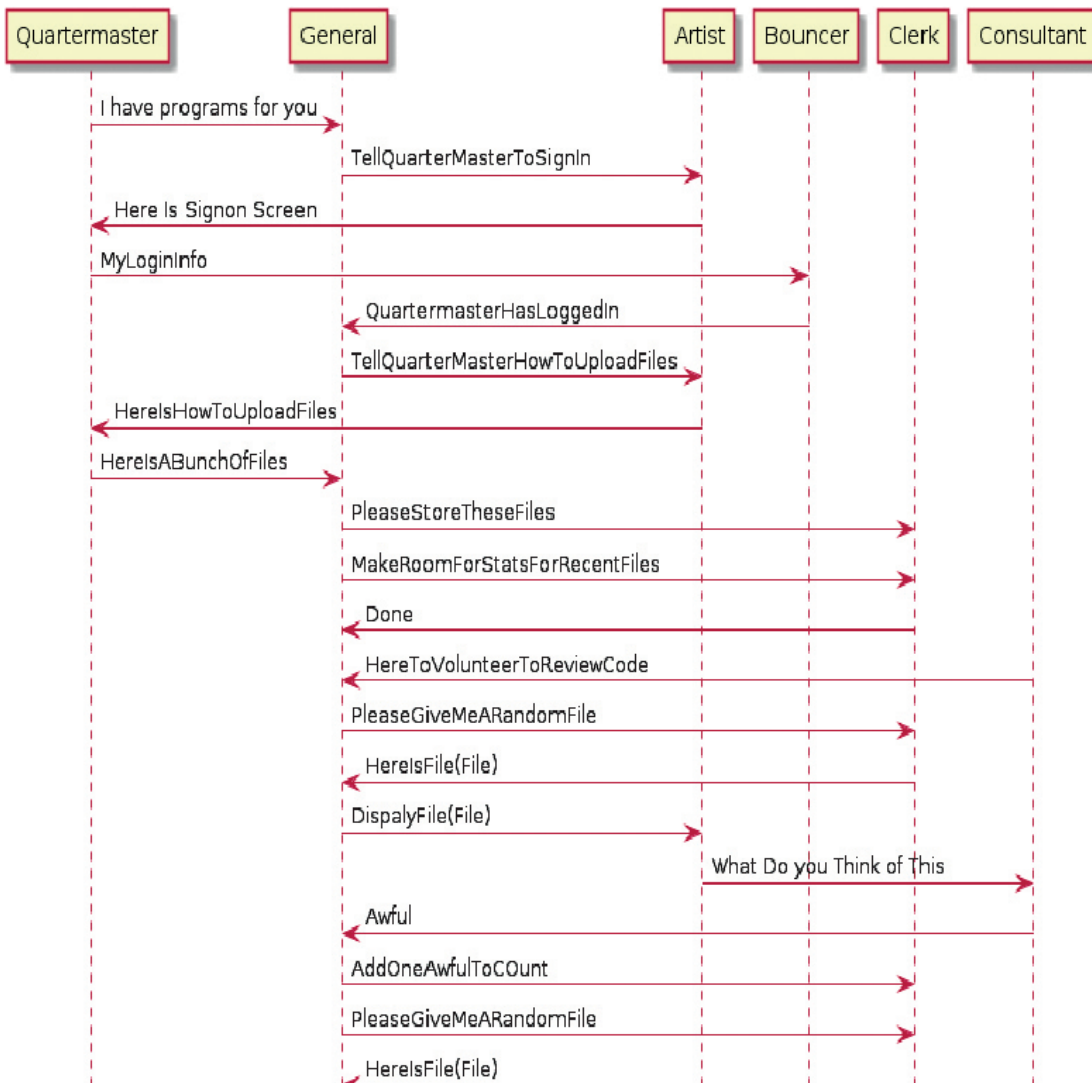


Figure 1. Sample Sequence Diagram

Source: Dorin, 2018

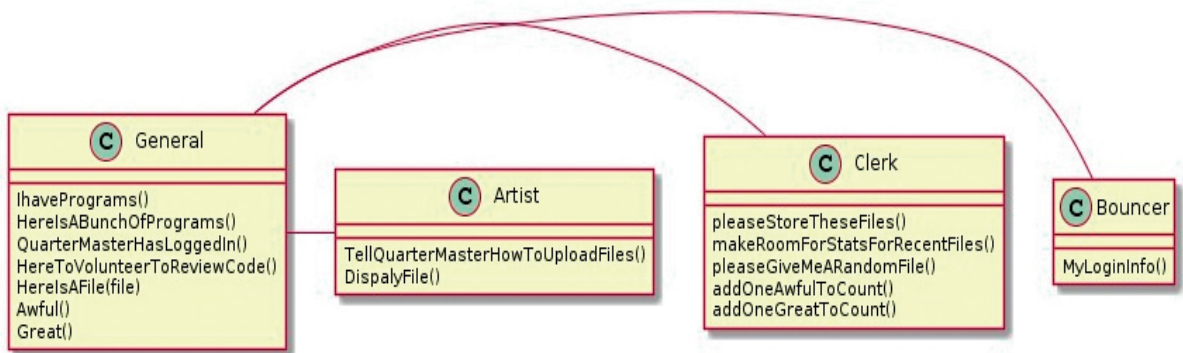


Figure 2. Sample Class Diagram

Source: Dorin, 2018

5. RESULTS

The Graduate Programs in Software department (GPS) of the University of St. Thomas (UST) provides an avenue for people without a technical background to study for a career in information technology. Students arrive with different backgrounds including teachers, human resources employees, and even history majors. One course all students must complete is SEIS-610, Introduction to Software Engineering. This class exposes students to various aspects of software engineering including the various life cycle models and other topics such as budgeting and scheduling. As part of this semester-long class, students are required to design an application to gain experience with various aspects of the software development life cycle. Often this class was taught with a pure Rational Unified Process (RUP) life cycle model. Many students were confused by aspects of RUP, such as how it called out the definition of non-functional requirements and concepts such as vision and scope. The requirements work flow was also more complicated as RUP calls for using use cases instead of user stories. In many projects, the non-functional requirements were contrived as students felt they needed to have each RUP check box completed. Though most all of the student projects were successful, they spent unproductive time figuring out little frustrating aspects of RUP.

When hybrid concepts were introduced, most groups were able to produce a successful project with far less frustration. This was demonstrated by fewer calls and emails with questions. The hybrid model using user stories allowed for the faster definition of requirements. By simplifying the description of non-functional requirements, the hybrid model eliminated invented unneeded items. Many students had no software background before beginning the class and were still able to design very sophisticated systems.

5. CASE STUDY

In one example, a group of students formed a team which whose goal was to design an application which would manage satellite communications. The system they intended to manage was a private project created by a small startup business. The goal of the system was to perform both message-based communications as well as voice communications. Custom devices which connect via USB to Android cell phones are to be marketed which would interface directly with the satellites. The startup company faced problems managing the mobile devices which needed to be enabled, billing needed to be activated, and other aspects of the communication paths needed to be configured. This group had the same amount of time to complete the project as other groups, which was about 14 weeks. The group had both experienced and inexperienced people when it came to software engineering.

The first required deliverable was the “Kickoff” document. For this group this document provided a very clean communication mechanism between the students and the outside organization. Especially helpful were the “Boundaries” and “Technical Risks” paragraphs. It seemed all too easy to add features during verbal discussions, and the boundaries paragraph helped manage adding new features. The “Technical Risks” paragraph helped identify areas that the students would truly have to research if they were to continue on the project.

The second required project deliverable was to prepare class and sequence diagrams, and the result of their work was a substandard submission. Initially, this group had decided not to do a rehearsal and even classified the approach as absurd. When the group was interviewed regarding their project, they were unable to describe interactions nor an accurate structure of their system adequately. Finally convinced to do a rehearsal, within two weeks they had appropriate class and sequence diagrams and expressed surprise with the effectiveness of the approach. Without rehearsing the operations, the system was just too complicated for the group to design. Actual implementation was not required for this project; however, it is evident that had real coding begun before the rehearsal the code produced would have been of haphazard design and too complicated.

6. CONCLUSION

The hybrid lifecycle model proposed in this paper is Agile and is compatible with the four tenants of the Agile Manifesto which emphasize individuals, working software, customer collaboration, and response to change (Beck et al., 2001). Through the use of user stories instead of more formal use-cases, individuals and customer collaboration are encouraged. Through a practical architecture design process, working software is championed.

Outside the university setting, hybrid models have been shown to be successful in many areas. In the paper, “The impact of process maturity on defect density,” it was discovered that

hybrid life cycle models had a lower defect density than Waterfall or Scrum (Shah, Morisio, & Torchiano, 2012). Some students working professionally in the software industry indicated their employers appreciate the “Kickoff” document for launching new projects.

This paper has also covered aspects of complicated software and issues have been shown. The benefits of various traditional lifecycle models have been explained and some criticisms enumerated. The hybrid life cycle model described was successfully presented to graduate students at the University of St. Thomas. This model encourages architecture definition while still allowing for the communicative strengths of Agile. Further research is necessary to measure how well this lifecycle model will work for professional development organizations.

REFERENCES

- Alliance, S. (2015, July). The 2015 state of scrum, *scrum-alliance-state-of-scrum-2015.pdf*. Retrieved from <https://www.scrumalliance.org>
- Banker, R. D., Datar, S. M., Kemerer, C. F., & Zweig, D. (1993, November). Software complexity and maintenance costs. *Commun. ACM*, 36(11), 81–94. Retrieved from <http://doi.acm.org.ezproxy.stthomas.edu/10.1145/163359.163375> doi:10.1145/163359.163375
- Basili, V. R., & Selby, R. W. (1987). Comparing the effectiveness of software testing strategies. *IEEE transactions on software engineering* (12), 1278–1296.
- Beck, K., Beedle, M., Van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., . . . others (2001). Manifesto for agile software development.
- Cohn, M. (2018). Scrum certification via certified scrummaster training. Retrieved from <https://www.mountangoatsoftware.com/training/courses/certified-scrummaster>
- Dorin, M. A. (2018). *Coding for inspections and reviews*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Foote, B., & Yoder, J. (1997). Big ball of mud. *Pattern languages of program design*, 4, 654–692.
- Henrikkniberg. (2012, Oct). Agile product ownership in a nutshell. YouTube. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=502ILHjX9EE>
- Hurme, J., et al. (2011). The benefits of using uml-modeling tools in evaluation and testing of etm software.
- Jeremiah, J. (2018, May). Agile vs. waterfall: Survey shows agile is now the norm. TechBeacon. Retrieved from <https://techbeacon.com/survey-agile-new-norm>
- Larman, C. (2012). *Applying uml and patterns: An introduction to object oriented analysis and design and interative development*. Pearson Education India.

- Larman, C., Kruchten, P., & Bittner, K. (2001). How to fail with the rational unified process: Seven steps to pain and suffering. Valtech Technologies & Rational Software.
- Nerur, S., Mahapatra, R., & Mangalaraj, G. (2005). Challenges of migrating to agile methodologies. *Communications of the ACM*, 48(5), 72–78.
- Nugroho, A., & Chaudron, M. R. (2009). Evaluating the impact of uml modeling on software quality: An industrial case study. In *International conference on model driven engineering languages and systems* (pp. 181–195).
- Rosenbloom, A. (2018). A simple mvc framework for web development courses. In *Proceedings of the 23rd western canadian conference on computing education* (pp. 13:1–13:3). New York, NY, USA: ACM. Retrieved from <http://doi.acm.org.ezproxy.stthomas.edu/10.1145/3209635.3209637> doi: 10.1145/3209635.3209637
- Schach, S. R. (2007). *Object-oriented and classical software engineering* (Vol. 6). McGraw-Hill New York.
- Shah, S. M. A., Morisio, M., & Torchiano, M. (2012). The impact of process maturity on defect density. In *Proceedings of the acm-ieee international symposium on empirical software engineering and measurement* (pp. 315–318). New York, NY, USA: ACM. Retrieved from <http://doi.acm.org.ezproxy.stthomas.edu/10.1145/2372251.2372308> doi: 10.1145/2372251.2372308
- Singhto, W., & Phakdee, N. (2016, Dec). Adopting a combination of scrum and waterfall methodologies in developing tailor-made saas products for thai service and manufacturing smes. In *2016 international computer science and engineering conference (icsec)* (p. 1-6). doi: 10.1109/ICSEC.2016.7859882
- Sturtevant, D., MacCormack, A., Magee, C., & Baldwin, C. (2013). *Technical debt in large systems: Understanding the cost of software complexity*. Unpublished thesis, MIT.
- Williams, L. (2012). What agile teams think of agile principles. *Communications of the ACM*, 55(4), 71–76.
- Zhang, X., Hu, T., Dai, H., & Li, X. (2010). Software development methodologies, trends, and implications. *Information Technology Journal*, 9(8), 1747–1753.

Modelos ocultos de Markov para el desarrollo de un sistema de ayuda al habla para personas que sufren de disartria

Clara Mercedes Guevara Vélez
meche18_1295@hotmail.com / Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú

Recepción: 25-5-2018 / Aceptación: 21-8-2018

RESUMEN. El presente trabajo describe el diseño y desarrollo de un reconocedor automático de voz disártrica en español y una interfaz gráfica para su uso, el sistema en su totalidad será denominado Sistema de Ayuda al Habla (SAH). Esto para realizar funciones de apoyo en el nivel de comunicación de personas con el trastorno de disartria. Para la función de reconocimiento del sistema se utilizó la biblioteca HTK Toolkit, siendo la técnica de modelado acústico los modelos ocultos de Markov. En las pruebas con un vocabulario de cinco palabras, se tuvo un aumento del nivel de comunicación de un 46,67 %, y una tasa de reconocimiento de voz de 65 %. Estos resultados fueron comparando la precisión del SAH con la precisión del reconocimiento humano.

PALABRAS CLAVE: disartria, reconocimiento automático de voz, HTK Toolkit, modelos ocultos de Markov (HMM), nivel de comunicación

Hidden Markov models for the development of a speech-aid system for people with dysarthria

ABSTRACT. The present paper describes the design and development of an automatic recognizer of speech in Spanish and a graphical interface for its use; the system as a whole will be called Speech Help System (SAH). It is intended to perform supporting functions in the communication level of people with dysarthria disorder. For the System Recognition function, the HTK Toolkit library was used; the acoustic modeling technique being the Hidden Markov Models (HMM). In tests with a vocabulary of five words, there was an increase in communication level of 46.67 %, and a voice recognition rate of 65 %. These results compared the accuracy of the SAH to the accuracy of human recognition.

KEYWORDS: dysarthria, automatic speech recognition, HTK Toolkit, Hidden Markov Models (HMM), communication level

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de la inteligencia artificial en ingeniería de sistemas, se busca desarrollar una aplicación directa para personas con discapacidades, en especial del habla. De acuerdo con las estadísticas mostradas por el Ministerio de Salud (MINSA), en el 2016 aproximadamente el total de personas con enfermedades y trastornos que ocasionaron deficiencias era de 117 593 personas, de las cuales un 6 % tiene trastornos de la comunicación. En números esto se traduce en 7 062 peruanos registrados en el MINSA con problemas de comunicación.

Dentro de las discapacidades del habla y comunicación se considera a la disartria, que se puede definir como el trastorno de la expresión verbal causado por una alteración del control muscular del mecanismo del habla, siendo este un problema del habla y no un problema del lenguaje.

Se obtuvo toda la información (bibliográfica y en línea) para conocer acerca de las patologías de lenguaje y motoras en general de las personas con disartria. Se reconoció la utilidad práctica de sistemas computacionales basados en inteligencia artificial que ayudan a los pacientes a comunicarse por medio de la voz en otros países.

Al tener dicha información se realizó investigación en el campo de aplicaciones de reconocimiento automática del habla (RAH), encontrándose proyecto de otros países enfocados en el desarrollo de sistemas para mejorar la comunicación de personas con disartria. Esto llevó a identificar los siguientes problemas relacionados con el desarrollo de un sistema RAH para voz disártrica:

- Tasas variables de precisión en el reconocimiento de voz (25 a 95 %) para usuarios disártricos.
- El rango de anomalías en la voz disártrica es muy amplio, variando entre personas afectadas.
- Conforme el tamaño del vocabulario del sistema aumenta, el nivel de precisión de reconocimiento disminuye.
- Los síntomas asociados a la disartria dificultan la recopilación de muestras de voz (corpus) para un entrenamiento supervisado robusto del sistema.
- No existe un corpus de voz disártrica en español latino para la realización de análisis o modelado acústico para la construcción de un sistema RAH.
- No existen proyectos de sistemas RAH para el idioma español similares que sirvan como base de comparación, la mayoría están desarrollados para el idioma inglés.

La presente investigación pretende desarrollar un sistema de reconocimiento automático de voz disártrica denominado Sistema de Ayuda al Habla (SAH), superando los problemas

mencionados anteriormente para lograr el aumento del nivel de la comunicación por medio de voz de las personas que sufren del trastorno de disartria.

2. METODOLOGÍA

2.1 Datos usados en el estudio

Adams (2017) nos describe los tipos de sistemas de reconocimiento de voz, entre ellos, el sistema de reconocimiento de voz dependiente del hablante. Nos dice que es un tipo de reconocimiento de voz que depende de la persona que habla. Requiere entrenamiento para ser más preciso en la conversión de voz a texto. El entrenamiento se realiza a menudo a través de una serie de muestras de conversión que luego son corregidas por el hablante.

Debido a que este proyecto se desarrollará como un sistema de reconocimiento de voz de tipo dependiente del hablante, se usarán cinco personas para entrenar y testear el sistema. En la fase de testeo, cada persona repetirá cinco palabras del vocabulario, cuatro veces cada una. En total se evaluarán 100 palabras emitidas.

Tomaremos como variable el puntaje obtenido en las evaluaciones con la escala analítica de los exámenes DELE, la cual será medida en dos momentos distintos, que en general llamaremos “antes del SAH” y “después el SAH”. Estas variables serán comparadas entre sí, se comprobará la hipótesis siempre y cuando la variable “después del SAH” sea mayor a la variable “antes del SAH”.

2.2 Vocabulario del Sistema

Maggiolo (2017) nos presenta el test de articulación a la repetición (TAR), de la profesora fonoaudióloga Edith Schwalm, el cual es comúnmente usado para medir el nivel fonético de los pacientes y así detectar posibles trastornos del lenguaje.

En este proyecto nos hemos basado en la clasificación de las palabras usadas en el TAR para crear un vocabulario que se adecue a las palabras más usadas en la vida diaria del usuario elegido. A continuación se presenta el vocabulario desarrollado:

- Cabeza
- Columba
- Elefante
- Gonzales
- Micrófono

2.3 Escala analítica en expresión e interacciones orales de los exámenes DELE

Se necesitó medir la calidad de la comunicación entre un paciente disártrico y una persona sin discapacidad. Para ello se decidió tomar como referente la escala analítica en expresión e interacciones orales de los exámenes DELE. Para esta medición se adaptó la escala DELE en contexto de conversación bilateral. En la tabla 1 se detallan los criterios de evaluación que se escogieron.

Tabla 1
Criterios de evaluación de conversación bilateral

Fluidez	
4	Se comunica con relativa fluidez, es capaz de mantener el ritmo eficazmente.
3	Se comunica con relativa facilidad aunque no lleva el ritmo de la conversación.
2	Las pausas son claras ya que tiene problemas para formular un discurso fácilmente entendible.
1	Le es imposible expresarse.
Pronunciación	
4	Su pronunciación es clara e inteligible.
3	Su pronunciación está distorsionada pero el receptor sí llega a entender.
2	Su pronunciación está demasiado distorsionada haciendo que el receptor se esfuerce para intentar comprenderlo.
1	Su pronunciación es totalmente ininteligible.
Interacción	
4	Conversa con relativa facilidad y eficacia, colabora con su receptor.
3	Mantiene la conversación en forma adecuada aunque en ocasiones el receptor le pide repetir lo dicho.
2	El receptor pide aclaraciones o repetir lo dicho constantemente.
1	No hay ningún tipo de entendimiento del mensaje dicho por parte del receptor.

Elaboración propia

2.4 Modelos ocultos de Markov

Un modelo oculto de Markov (MOM) es un proceso estocástico que consta de un proceso de Markov no observado (oculto) y un proceso observado O, cuyos estados son dependientes estocásticamente de los estados ocultos (figura 1). La tarea fundamental consiste en determinar los parámetros ocultos a partir de los parámetros observados. Una de las aplicaciones más utilizadas de estos modelos es el reconocimiento del habla, técnica que ha permitido modelar adecuadamente la gran variabilidad en el tiempo de la señal de voz.

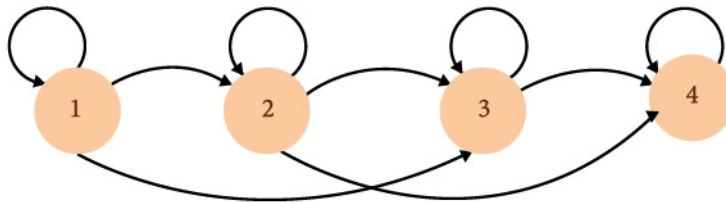


Figura 1. Modelo oculto de Markov

Elaboración propia

Esta arquitectura se da de acuerdo con el número de estados que la componen y las transiciones permitidas entre dichos estados. Se usará el modelo de Bakis, también conocido como modelo izquierda-derecha, pues la secuencia de estados oculta tiene la propiedad de que, conforme el tiempo se incrementa, el estado se incrementa (o permanece constante). Se utiliza en el modelado del habla porque se ajusta a señales cuyas propiedades cambian a lo largo del tiempo, como la voz. Los MOM hacen uso de dos algoritmos de análisis secuencial.

El primero es el algoritmo de Viterbi (figura 2), que nos permite encontrar la secuencia de estados más probable en un modelo MOM a partir de una observación; este obtiene la secuencia óptima que mejor explica la secuencia de observaciones. En este algoritmo se puede visualizar la mejor ruta a través de una matriz donde la dimensión vertical representa los estados de los MOM y la dimensión horizontal representa los marcos del habla (es decir, el tiempo).

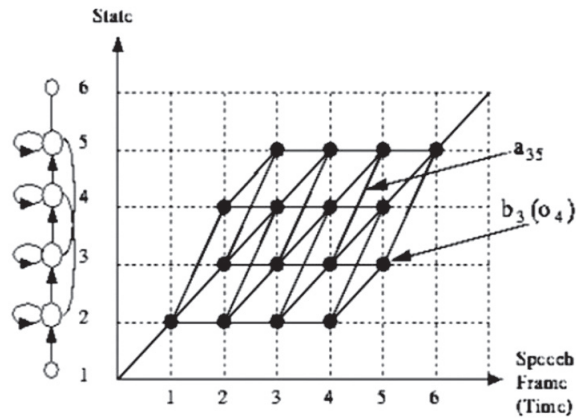


Figura 2. Algoritmo de Viterbi
Elaboración propia

El segundo es el algoritmo Baum Welch (figura 3), que se define como la reestimación de los parámetros de un MOM sobre la base de otro MOM. Uno de los problemas relacionados con los MOM es el de encontrar un modelo que maximice la probabilidad de una secuencia de observaciones, es decir, determinar el modelo que mejor explica tal secuencia. El problema es que no es posible encontrar tal modelo analíticamente y por ello es necesario un algoritmo iterativo como el de Baum y Welch, que permite estimar los parámetros de un modelo que hacen máxima la probabilidad de una secuencia de observables.

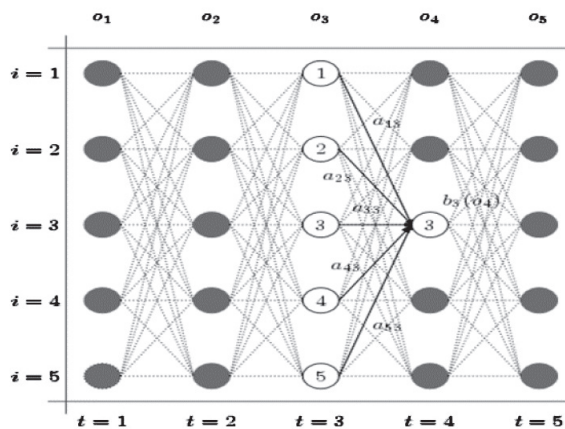


Figura 3. Algoritmo Baum Welch
Elaboración propia

2.5 Sistema de Ayuda al Habla

La construcción del SAH se realizó en dos partes; primero, se desarrolló el reconocedor de voz, con la construcción de diferentes modelos acústicos por cada palabra del vocabulario presentado anteriormente, haciendo uso de la biblioteca HTK Toolkit y del diagrama de flujo (Young et al., 2002).

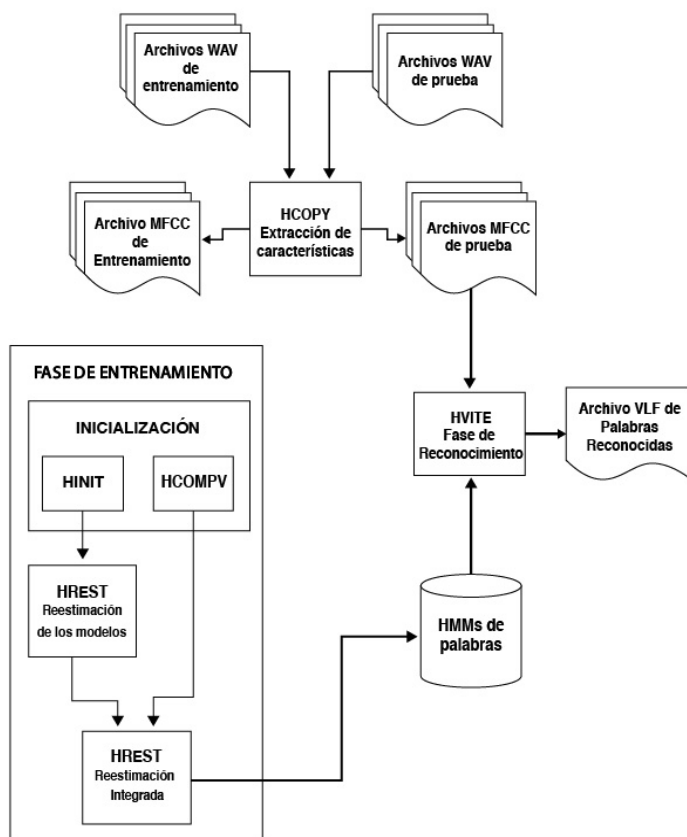


Figura 4. Diagrama de flujo
Elaboración propia

El diseño de esta herramienta tiene el propósito principal de construir modelos ocultos de Markov para el procesamiento de voz, específicamente para el diseño de reconocedores de voz. Como primer paso, las herramientas del HTK se utilizan para estimar los parámetros del conjunto de HMM, utilizando archivos de entrenamiento que contienen la pronunciación y su transcripción asociada. Posteriormente, las pronunciaciones desconocidas se transcriben a través de las herramientas del HTK para su reconocimiento.

Una vez que se han construido los modelos acústicos se realiza la segunda parte de la construcción, el desarrollo de la interfaz gráfica, la cual presenta tres etapas: grabación, reconocimiento y síntesis.

2.5.1 Etapa de grabación

La etapa de grabación le permitirá al usuario realizar la captura de la señal de voz y archivarla en un archivo de formato WAV. Está compuesta del interruptor ON/OFF y el cronómetro que se encuentra a su lado izquierdo. El usuario deberá activar el interruptor, posicionándolo en el estado ON, automáticamente se dará inicio al cronómetro y se empezará a grabar la señal de voz. Cuando el usuario haya terminado de hablar, deberá desactivar el interruptor, posicionándolo en el estado OFF. Automáticamente, se dará termino a la grabación y se creará el archivo WAV que contendrá la señal de audio capturada.

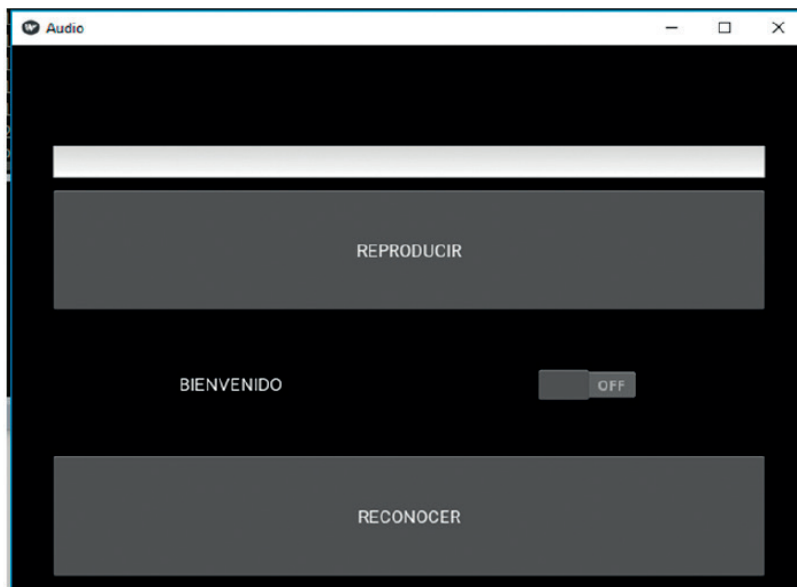


Figura 5. Interfaz gráfica Sistema SAH

Elaboración propia

2.5.2 Etapa de reconocimiento

La etapa de reconocimiento, como lo dice su nombre, realiza el proceso de reconocimiento, ejecuta las herramientas HCopy y HVite de la biblioteca HTK Toolkit para obtener la transcripción de la palabra reconocida en el audio previamente grabado. Consta del botón

RECONOCER, ubicado en la parte inferior de la interfaz, el cual, al ser pulsado, muestra en el área de texto que se encuentra en la parte superior de la venta, la palabra reconocida.

2.5.3 Etapa de síntesis

La etapa de síntesis se encarga de realizar la síntesis de texto a voz de la palabra mostrada en el área de texto. Si el usuario es incapaz de leer la palabra impresa o desea que sea reproducida, deberá pulsar el botón REPRODUCIR, el cual se encuentra ubicado debajo del área de texto donde se imprime la palabra reconocida.

Esta GUI es creada en el lenguaje de programación Python, y presenta el flujo de información que muestra la figura 6.

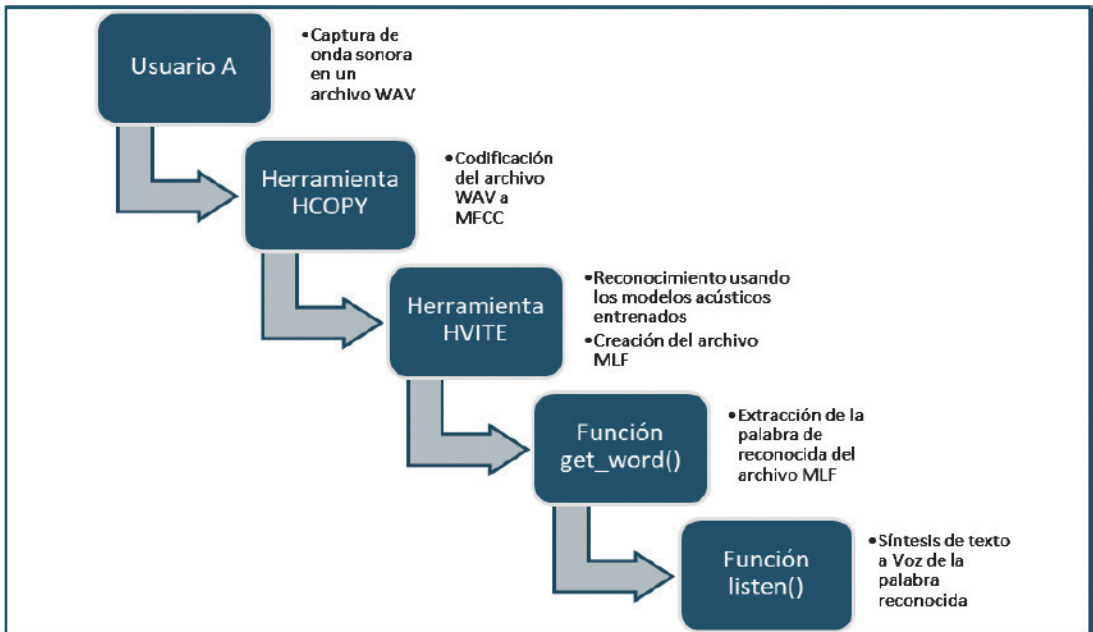


Figura 6. Flujo de información del sistema SAH
Elaboración propia

3. RESULTADOS

El puntaje total de la escala analítica de expresión e interacción orales de los exámenes DELE, es de 12 puntos. En la tabla 2 se muestra la variación de resultados, en las dos fases: antes y después de la implementación del sistema SAH.

Tabla 2
Nivel de comunicación

	Antes de SAH (%)	Después de SAH (%)
Paciente CG	41,67	91,67
Paciente ER	48,33	91,67
Paciente MS	41,67	85,00
Paciente BD	55,00	100,00
Paciente MV	43,33	95,00

Elaboración propia

Como se observa en la tabla 2, los porcentajes muestran que todos los pacientes presentaron un mayor nivel de comunicación, después de la implementación del sistema SAH.

El nivel de comunicación promedio en la fase “antes de SAH” es de 46 %, pero con la implementación del sistema SAH, esta cifra en la fase “después de SAH” aumentó a 92,67 %, mostrando una mejora del 46,67 %.

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular la tasa porcentual de reconocimiento de un sistema RAH.

$$TR = \frac{\text{número palabras correctamente reconocidas}}{\text{número total de palabras}} \times 100$$

Mostramos en la tabla 3 la cantidad de palabras correcta e incorrectamente reconocidas por el sistema con cada paciente.

Tabla 3
Registro de reconocimiento

	Correctos	Incorrectos
Paciente CG	15	5
Paciente ER	15	5
Paciente MS	14	6
Paciente BD	20	0
Paciente MV	17	3
Total	81	19

Elaboración propia

Al aplicar la fórmula anterior, se calcula una tasa de reconocimiento del 81 %, el cual es un porcentaje cercano a las tasas de reconocimiento de otros sistemas de reconocimiento de voz comerciales.

4. DISCUSIÓN

Antes de la implementación del sistema SAH y durante la realización de las pruebas se fueron obteniendo las siguientes observaciones en la comunicación de los pacientes.

- Los pacientes tenían como un límite de repeticiones por palabra un promedio de tres veces; repetir más veces los llevaba a la frustración por no ser entendidos y se negaban a seguir intentándolo, truncando el proceso de comunicación.
- Muchas veces la oyente tenía que interpretar adivinando o tanteando en palabras similares a las que escuchaba hasta que diera con la palabra correcta.
- Los pacientes se quejaban de dolor al tener que articular con exageración o tener que aumentar el volumen de su voz para lograr ser entendidos.

Después de la implementación de sistema SAH y mientras se realizaban las pruebas se fueron obteniendo las siguientes observaciones en la comunicación de los pacientes.

- Los pacientes mostraron mucha afinidad con el uso del sistema SAH, se sentían más motivados a intentar emitir más palabras.
- La interacción con el oyente fue mayor, ya que tomaba menos tiempo para el oyente entender lo que el paciente le decía.
- No hubo ningún tipo de frustración por parte de los pacientes, por lo que en ningún caso la comunicación fue interrumpida.

5. CONCLUSIONES

El nivel de comunicación tuvo un aumento de 46,67 % puntos, es decir, tuvo un incremento del 46 % al 92,67 % de la escala analítica de los interacción y expresión oral de los exámenes DELE, después de la implementación del SAH.

Para el desarrollo del SAH se abordó el enfoque de dependiente de usuario (DU). En los trabajos citados se ha argumentado que los sistemas RAH dependientes de usuario son mejores para individuos con disartria, aunque requieren más tiempo y trabajo de cercanía con el paciente para ser desarrollados. Esto porque este enfoque implica el desarrollar un corpus de entrenamiento con la voz del usuario que va a usar el sistema, el cual debe estar etiquetado correctamente.

De esta manera se considera que este sistema, con las funciones implementadas, contribuye al campo del desarrollo de tecnologías para personas con discapacidad en el habla. Siendo que este campo no se ha explorado de manera significativa para el español latino.

REFERENCIAS

- Adams, C. (17 de marzo de 2017). *Explaining the different types of voice recognition*. Recuperado de <https://www.thoughtco.com/types-of-voice-recognition-1205856>
- Maggiolo, M. (2017). Test de articulación a la repetición (TAR): Un legado de la profesora fonoaudióloga Edith Schwalm. *Revista Chilena de Fonoaudiología* 16. <https://doi.org/10.5354/0719-4692.2017.47557>
- Ministerio de Salud-Minsa (2016). Datos estadísticos sobre incapacidad. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/discapacidad-7995>
- Young, S., Evermann, G., Gales, M., Hain, T., Kershaw, D., Liu, X., ..., Valtchev, V. (2002). The HTK Book. *Cambridge University Engineering Department* 3, p. 175.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, A. (2001). *Apuntes de fundamentos del reconocimiento automático de la voz*. Madrid: Departamento de Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos. Facultad de Informática. UPM.
- Davis, S., y Mermelstein, P. (1980). Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuously spoken sentences. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing* 28(4), pp. 357–366. <https://doi.org/10.1109/TASSP.1980.1163420>
- Hatzis, A. (2003). Automatic speech recognition with sparse training data for dysarthric speakers. *Proc. European Conference on Speech Communication Technology*, pp. 1189–1192.
- Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G. E., Mohamed, A., Jaitly, N., ..., Kingsbury, B. (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *IEEE Signal Processing Magazine* 29(6), pp. 82–97. <https://doi.org/10.1109/MSP.2012.2205597>
- Hubert, P. (2017). *PyAudio Documentation - PyAudio 0.2.11 documentation*. Recuperado de <https://people.csail.mit.edu/hubert/pyaudio/docs/>

- Instituto Cervantes. (S. f.) *Qué son los DELE. Exámenes*. Recuperado de <https://exámenes.cervantes.es/es/dele/que-es>
- Jurafsky, D., y Martin, J. H. (2008). *Speech and language processing*. Segunda edición. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- Kadi, K. L., Selouani, S. A., Boudraa, B., y Boudraa, M. (2016). Fully automated speaker identification and intelligibility assessment in dysarthria disease using auditory knowledge. *Biocybernetics and Biomedical Engineering* 36(1), pp. 233–247.
- Lambayeque: Más de 100 mil tratamientos en medicina física se realizaron en hospital. (26 octubre de 2015). Diario *Correo*. Recuperado de <https://diariocorreo.pe/edicion/lambayeque/lambayeque-mas-de-100-mil-tratamientos-en-medicina-fisica-se-realizaron-en-hospital-628286/>
- Lizandra Laplaza, R. (S. f.). *Dificultades en el desarrollo del lenguaje oral e intervención*. Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/view/14250103/dificultades-en-el-desarrollo-del-lenguaje-oral-e-intervencion/14>
- Moriana, M. J. (2009). La disartria. *Revista Digital Innovación y Experiencias Educativas*. Recuperado de <https://fonologizatte.wordpress.com/trastornos-del-habla/>
- Peña-Casanova, J. (2013). *Manual de logopedia*. Barcelona: Elsevier.
- Pérez, A. M. S., Fernández, M. D. V., y Torres, I. H. (2006). La comunicación oral, sus características generales. *Ciencias Holguín* 12(2), pp. 1-6. Cuba.
- Samira, H., Fateh, B., Smaine, M. y Mohamed, B. (2013). A novel speech recognition approach based on multiple modeling by hidden Markov models. En: *2013 International Conference on Computer Applications Technology (ICCAT)* (pp. 1-6). <https://doi.org/10.1109/ICCAT.2013.6522028>
- Sánchez, M. G. (2008). *Desórdenes motores del habla y PROMPT (Parte II)*. EspacioLogopedico.com. Recuperado de <https://www.espaciologopedico.com/revista/articulo/1493/desordenes-motores-del-habla-y-prompt-parte-ii.html>
- Tamayo, M. T. (2004). *El proceso de la investigación científica*. México: Editorial Limusa.

Modelo predictivo para determinar la graduación de alumnos de carreras de ingenierías aplicando técnicas de minería de datos

Claudio José Carrizo
cjcarrizo77@gmail.com / Universidad Tecnológica Nacional San Francisco
San Francisco, Argentina

Recepción: 1-7-2018 / Aceptación: 21-8-2018

RESUMEN. La ingeniería cumple un rol fundamental en el desarrollo económico y el bienestar social de un país. Por este motivo, en el 2012 el gobierno nacional de Argentina impulsó el “Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016 (PEFI)”, con el objetivo de incrementar la cantidad de graduados en carreras de ingeniería, en pos de mejorar la industria, la innovación productiva y la expansión económica de dicho país. El propósito del presente trabajo es construir un modelo predictivo a través de técnicas de minería de datos que permita, por un lado, determinar la cantidad de alumnos que pueden graduarse en carreras de ingenierías de UTN Facultad Regional San Francisco, y por otro lado, identificar patrones que puedan incidir en la graduación. Los resultados de este proyecto representarán un aporte a la gestión académica en lo que respecta a la planificación, el seguimiento y el control de las cohortes de alumnos de las carreras de ingeniería.

PALABRAS CLAVE: modelo predictivo, minería de datos, graduados, ingeniería, UTN

Predictive model for determining students' graduation from engineering undergraduate programs using data mining techniques

ABSTRACT. Engineering plays a fundamental role for the economic development and social welfare of a country. For this reason, the National Government promoted in 2012 the “Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016 (PEFI)”, aiming to increase the number of graduates in engineering careers, in order to improve industrial development, productive innovation and economic expansion of Argentina. The purpose of this work is to build a predictive model through data mining techniques that allow, on one hand, determine the number of students who can graduate in engineering careers at UTN Facultad Regional San Francisco, and, on the other hand, identify patterns that may affect graduation. The results of this project will represent a contribution for the area of academic management, specifically for planning, monitoring and control keeping of engineering student cohorts.

KEYWORDS: predictive model, data mining, graduates, engineering, UTN

1. INTRODUCCIÓN

Desde la década de 1960, la población mundial ha crecido en forma exponencial. Este crecimiento ha generado problemas en sistemas energéticos, sanitarios, de telecomunicaciones e infraestructura (Naciones Unidas, 1987).

La ingeniería cumple un papel fundamental para el desarrollo económico y el bienestar social de la sociedad (Bohórquez y Torres, 2016). En el ámbito de la República Argentina, será necesario contar con una mayor cantidad de graduados en carreras de ingeniería para incrementar el desarrollo industrial, la innovación productiva y la expansión económica. Aquellos países que apuesten a la formación de más y mejores ingenieros, estarán apostando a la industrialización y el desarrollo.

Cifras referidas por el Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires (2016) indican que en China hay un ingeniero por cada 2000 personas; en Francia o Alemania uno por cada 2300; en México o Chile uno por cada 4500; en Brasil uno por cada 6000, mientras que en Argentina la proporción es de uno por cada 6700 habitantes.

En Argentina se dictan 481 carreras de ingeniería; 383 en universidades públicas y 98 en universidades privadas. A partir de un informe realizado por la Secretaría de Políticas Universitarias, se consigna que la UTN forma al 42,75 % de los ingenieros que se gradúan en el país (UTN Facultad Regional Buenos Aires, 2014). Esta cifra marca la importancia relativa que tiene la UTN respecto de las demás universidades que cuentan con carreras de ingeniería, posicionándose como la universidad de ingeniería más grande de la Argentina.

El desarrollo industrial y tecnológico del país necesita ingenieros capaces de liderar las innovaciones de los próximos treinta años. Es por este motivo que la Secretaría de Políticas Universitarias (2012) crea el Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016 (PEFI), como un compromiso del Ministerio de Educación de la Nación para incrementar la cantidad de graduados en ingeniería en un 50 % en 2016 y en un 100 % en 2021; esto permitiría de alguna manera asegurar en cantidad y calidad los recursos humanos necesarios para apoyar los ejes del Plan Estratégico 2020 con el fin de hacer de Argentina un país desarrollado. El PEFI pretende colocar a la Argentina entre los países con mayor cantidad de graduados en ingenierías de Latinoamérica y para ello se propuso lograr que exista un ingeniero por cada 4000 habitantes. Para llevar a cabo el PEFI se plantearon objetivos sobre la base de tres ejes estratégicos: “Mejora de indicadores académicos”, “Aporte al desarrollo territorial sostenible” e “Internacionalización de las ingenierías”.

En el 2016 la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) publicó una estadística acerca de la cantidad de graduados de ingeniería en donde se establece que se graduaron 7470 ingenieros de diferentes especialidades. Según el lema del PEFI, para asegurar un desarrollo sostenible del modelo productivo y del sistema científico y tecnológico, se necesita alcanzar una graduación de alrededor de 10 000 ingenieros por año, proyección que se definió teniendo en cuenta las

actuales necesidades insatisfechas y las áreas aún no desarrolladas que se desearía consolidar. Por lo tanto, de acuerdo con la estadística proporcionada por la SPU, queda en evidencia que los intentos del gobierno nacional por incrementar las tasas de graduación en carreras de ingenierías no trajeron los resultados esperados (Fernández, 2018).

En el ámbito local, más precisamente en la ciudad de San Francisco (provincia de Córdoba), se emplaza la Facultad Regional San Francisco, una de las 32 facultades regionales que forman parte de la Universidad Tecnológica Nacional. En este contexto, en el periodo 2015-2017 se llevó a cabo la ejecución de un Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID), que fue evaluado externamente y homologado por la UTN según disposición SCTyP 380/15.

Durante la ejecución del PID, más precisamente en la elaboración del estado del arte, pudimos detectar que existen muchos trabajos de investigación relacionados con la temática que expone este trabajo, solo que la mayoría de ellos están enfocados en la construcción de modelos que permitan determinar la deserción estudiantil o el rendimiento académico de alumnos universitarios, través del uso de técnicas de minería de datos (Fisher, 2012; Valía *et al.*, 2017; La Red, Karanik, Giovannini y Scappini, 2009; Porcel, Dapozo y López, 2016).

El objetivo de este trabajo consiste en determinar la cantidad de alumnos que pueden graduarse en un plazo de tiempo de ocho años en las carreras de ingeniería que se dictan en la UTN Facultad Regional San Francisco (ingenierías de Sistemas de Información, Química, Electrónica y Electromecánica), e identificar los patrones que pueden incidir en la graduación de estos alumnos, tomando como año de ingreso el 2012 y como año de egreso el 2018.

Para lograr este objetivo se propuso la construcción de un modelo predictivo a través de la utilización de técnicas de minería de datos (Pérez, 2015), que permita a través de los resultados pertinentes, no solo determinar la cantidad de alumnos que pueden graduarse en un plazo de ocho años, sino también detectar los patrones que inciden en la graduación de un alumno de ingeniería.

Los resultados de este proyecto contribuyen en forma de un instrumento útil para el área de gestión académica de la UTN Facultad Regional San Francisco, ya que permitirán proveer información acerca de la cantidad de alumnos que pueden graduarse en carreras de ingeniería en un tiempo promedio de ocho años y además brinda la posibilidad de poder trabajar específicamente sobre los patrones que inciden en la graduación de alumnos en las carreras de ingeniería para poder mejorar las tasas de graduados en los próximos años.

2. METODOLOGÍA

Para guiar el desarrollo del proyecto, se utilizó la metodología CRISP-DM (Goicochea, 2009) para minería de datos, en donde se llevaron a cabo en una primera instancia las fases de comprensión y preparación de los datos y luego, en una segunda instancia, se desarrolló la fase de modelado.

En cuanto al diseño de la investigación, en primera medida se precedió a relevar, analizar y clasificar los datos obtenidos a partir del sistema de gestión académica SysAcad, a fin de poder construir el perfil del alumno de ingeniería de UTN, teniendo en cuenta sus aspectos personales, laborales, académicos y socioeconómicos. Por otra parte, se precedió a relevar, analizar, evaluar y seleccionar las técnicas de minería de datos que más se adapten para armar el modelo predictivo que permita obtener los resultados antes mencionados.

2.1 Técnica de recolección de datos

Los datos correspondientes a alumnos de carreras de ingenierías de UTN Facultad Regional San Francisco se recolectaron a través de archivos en formato Excel separados por comas (CSV), en donde cada uno de los archivos contenían los atributos y registros de alumnos de carreras de ingenierías de la Facultad Regional San Francisco, en el periodo 1970-2018, que consiguieron su graduación o no.

En lo que respecta a las técnicas y herramientas de minería de datos a ser caracterizadas, se utilizó la técnica de análisis documental a través de relevamiento bibliográfico, publicaciones, *papers*, etcétera.

2.2 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis y procesamiento de los datos relevados se utilizó la herramienta de minería de datos *open source* denominada *RapidMiner Studio*¹, lo que permitió no solo analizar y procesar los datos, sino también construir y evaluar el modelo predictivo a través de la técnica de minería de datos denominada árboles de decisión.

3. FASES DE COMPRESIÓN Y PREPARACIÓN DE DATOS

A través de la metodología CRISP-DM se realizó la fase de compresión y preparación de los datos. En primera instancia, se construyó el perfil del alumno de carreras de ingenierías a través de datos personales, laborales, académicos y socioeconómicos, en donde se especificó un conjunto de atributos iniciales que se pueden visualizar en la tabla 1.

1. Ver *Data Science Behind Every Decision* en <https://rapidminer.com/> y *Analytics* en <https://www.microsystem.cl/plataforma/rapidminer/>

Tabla 1
Atributos iniciales del alumno de la carrera de ingeniería

Atributo	Tipo de valores
Legajo	Numérico (6)
Fecha nacimiento	Date (dd/mm/aaaa)
Sexo	String
Nombre estado civil	String
Procedencia ciudad	String
Procedencia provincia	String
Residencia ciudad	String
Residencia provincia	String
Ocupación	String
Trabaja	String
Cantidad familiares	Numérico (2)
Cantidad hijos	Numérico (2)
Año ingreso	Numérico (4)
Cantidad materias aprobadas	Numérico (4)
Cantidad materias regularizadas	Numérico (4)
Aplazos	Numérico (4)
Promedio	Decimal (2)
Instrucción padre	String
Instrucción madre	String
Ocupación padre	String
Ocupación madre	String

Elaboración propia

Luego se llevó a cabo la descripción y exploración de los datos a través de la herramienta RapidMiner Studio. Por último, para concluir la etapa de comprensión de datos, se realizó una verificación de la calidad de los datos relevados a través de los siguientes criterios, medidos en porcentajes: datos perdidos, errores de datos, errores de mediciones, incoherencias de codificación y metadatos erróneos.

En la fase de preparación de los datos se llevó a cabo la selección de los datos relevantes de entrada no solo para el modelo de entrenamiento sino también para el modelo predictivo; a esto también se lo conoce como vista minable o *dataset*. La metodología CRISP-DM propone

dos formas de selección de datos relevantes para objetivos de minería de datos: una de ellas es la selección de elementos (filas) y la otra es la selección de atributos o características (columnas). En este trabajo la selección de datos relevantes de entrada se realizó tomando como criterio los atributos iniciales que han pasado por un proceso de verificación de calidad de datos cuyos resultados de verificación han sido atributos con nivel de calidad de datos aceptable. Cabe destacar que se han descartado atributos relacionados con el anonimato del alumno como, por ejemplo, legajo, ciudad, provincia.

Los datos de entrada seleccionados (también conocidos como vista minable o *dataset*) se pueden visualizar en la tabla 2.

Tabla 2
Atributos seleccionados del alumno de la carrera de ingeniería

Atributo	Tipo de valores
Edad	Numérico (2)
Sexo	String
Estado civil	String
Trabaja	String
Cantidad familiares	Numérico (2)
Cantidad hijos	Numérico (2)
Año ingreso	Numérico (4)
Cantidad materias aprobadas	Numérico (4)
Cantidad materias regularizadas	Numérico (4)
Aplazos	Numérico (4)
Promedio	Decimal (2)

Elaboración propia

Por último, para concluir la fase de preparación de datos se procedió a realizar limpieza y formateo de los datos de entrada seleccionados.

4. FASE DE MODELADO

En la fase de modelado se llevó a cabo la construcción de un modelo predictivo a través de la herramienta RapidMiner Studio. Para ello se elaboró en primera instancia un modelo de entrenamiento (figura 1) en donde se tomó como entrada de datos un dataset con atributos

seleccionados en la fase de preparación de datos, los cuáles contenían datos históricos de alumnos ingresantes a carreras de ingeniería en la UTN Facultad Regional San Francisco entre los años 1970 y 2011. Cabe destacar, que a este dataset se le agregó el atributo “Graduado”, que indica si el alumno consiguió su graduación o no durante el periodo mencionado.

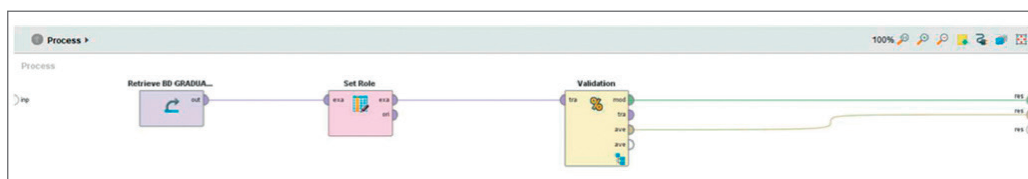


Figura 1. Modelo de entrenamiento

Elaboración propia

Para realizar la validación de los datos de entrada se utilizó el operador VALIDATION SPLIT (figura 2), dentro del mismo se realizó la fase de entrenamiento (training) y prueba (testing) del modelo.

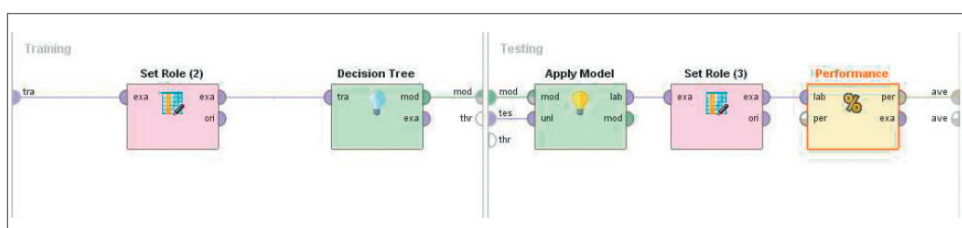
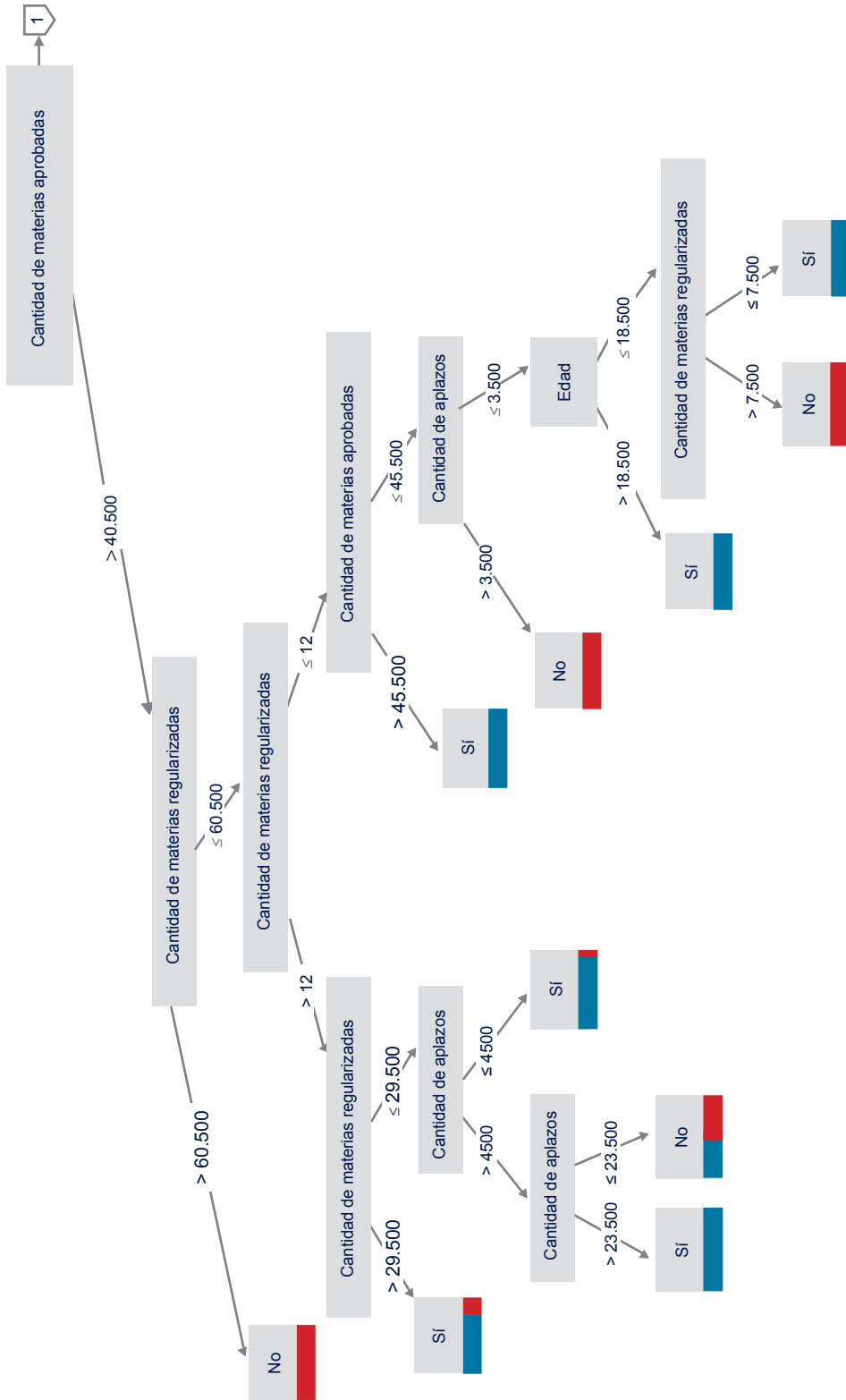


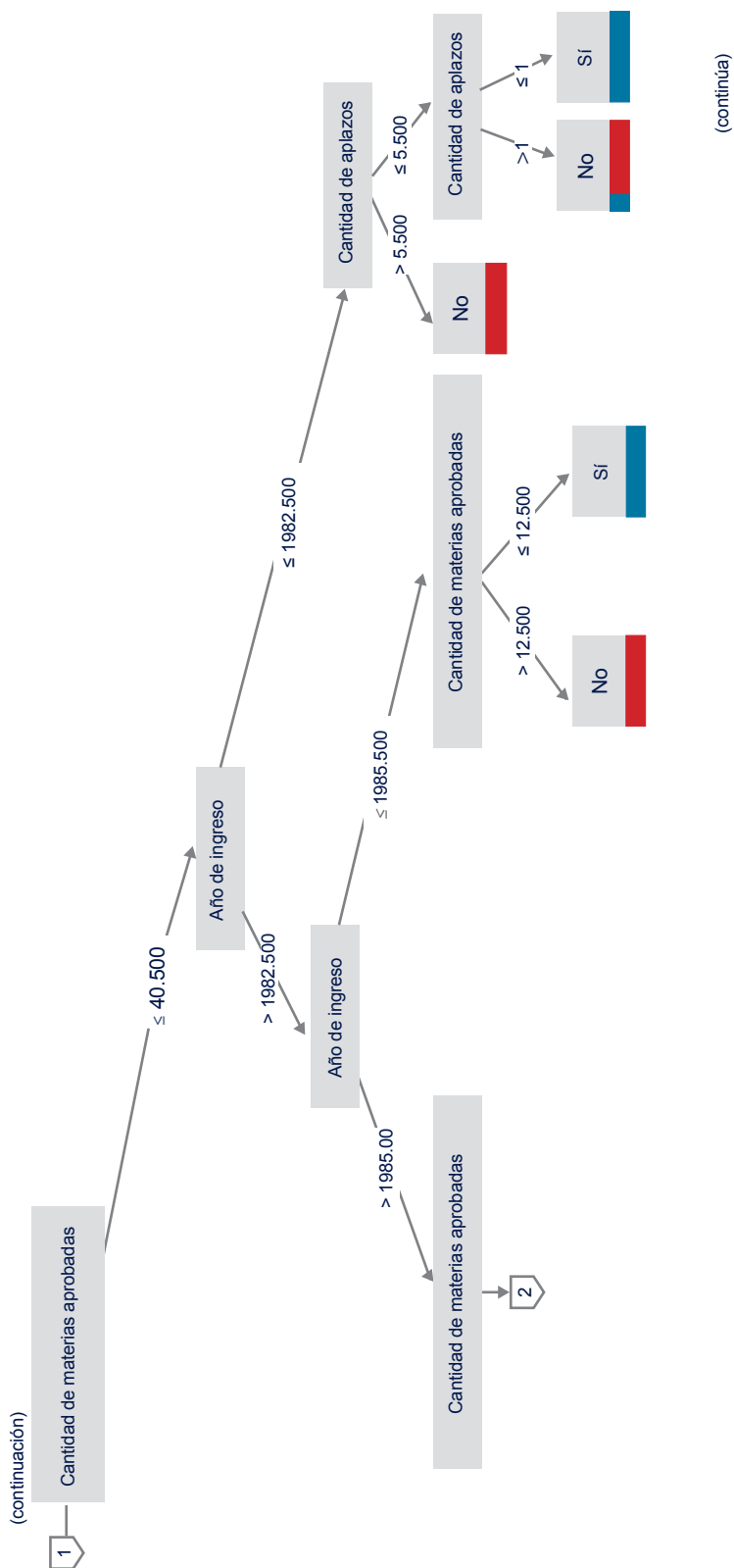
Figura 2. Modelo de entrenamiento (operador VALIDATION SPLIT)

Elaboración propia

En la fase de entrenamiento se utilizó la técnica de minería de datos denominada árboles de decisión (figura 3), seleccionada luego de realizar un relevamiento bibliográfico de diferentes técnicas como análisis de varianza, análisis discriminante, árboles de decisión, modelos de regresión, redes neuronales y series temporales, en donde se caracterizó a cada una de ellas según diferentes criterios, como en qué consiste la técnica, cómo funciona, cómo se aplica, etcétera. Luego se elaboró una matriz de doble entrada (criterios/técnicas), en donde se realizó una comparación entre las distintas técnicas relevadas para luego seleccionar la técnica más adecuada para este proyecto. Luego de la comparación realizada se seleccionó la técnica de árboles de decisión como la más adecuada para aplicar al modelo predictivo de este trabajo.



(continúa)



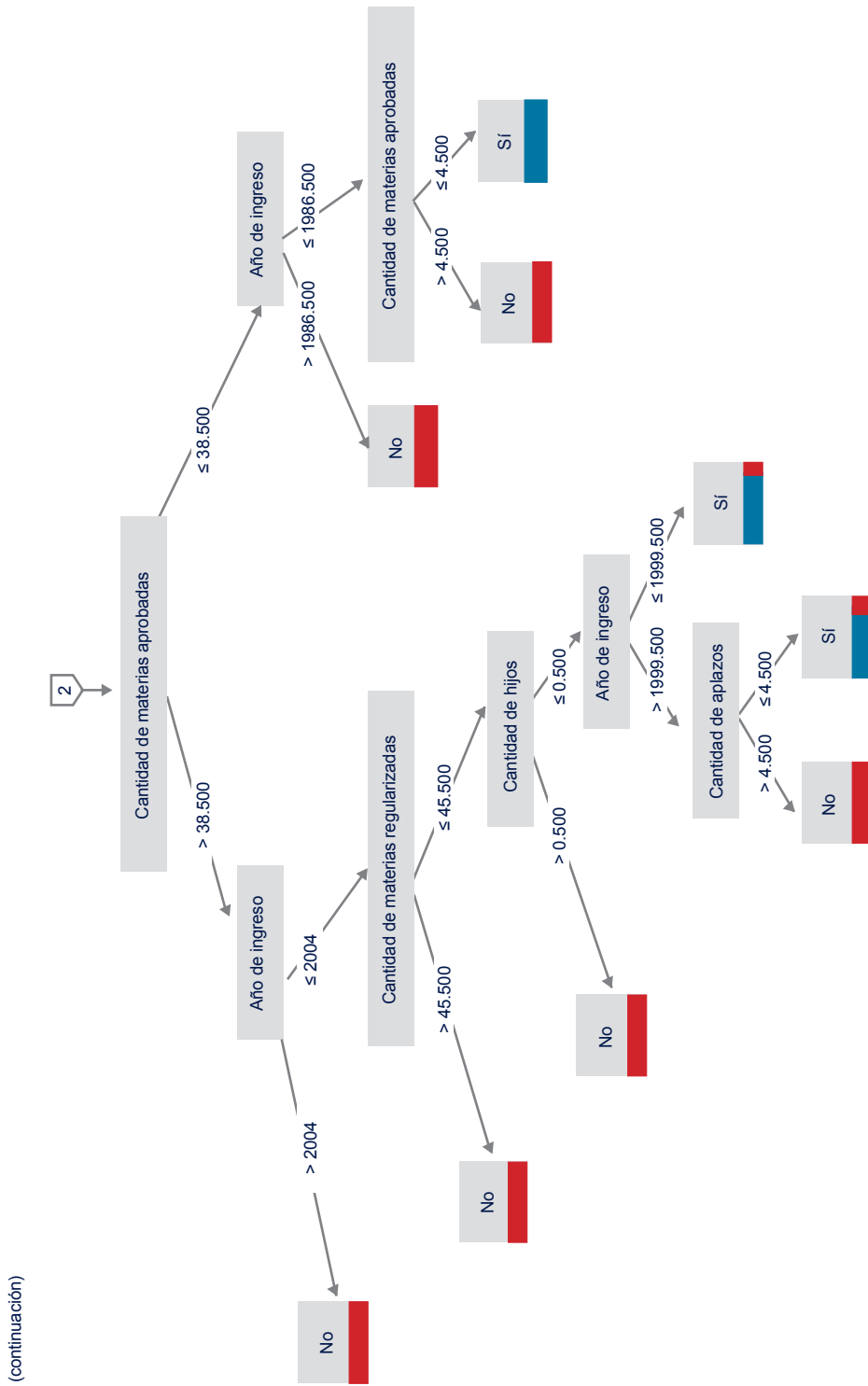


Figura 3. Árbol de decisión resultante
Elaboración propia

En la fase de prueba, se utilizó el operador performance vector (figura 4) para determinar el rendimiento del modelo de entrenamiento (figura 2); este rendimiento se analiza a través de lo que se conoce como matriz de confusión.

accuracy: 97.53%			
	true Si	true No	class precision
pred Si	231	20	92.03%
pred No	9	914	99.02%
class recall	96.25%	97.86%	

Figura 4. Operador performance vector (matriz de confusión)

Elaboración propia

Por último, se realizó la construcción del modelo predictivo (figura 5), tomando como entrada el modelo de entrenamiento resultante, al cual se le conectó a través del operador Apply Model, el *dataset* con datos de alumnos de carreras de ingenierías que hayan ingresado entre el año 2012 y el año 2018 y que no hayan conseguido su graduación hasta la fecha.

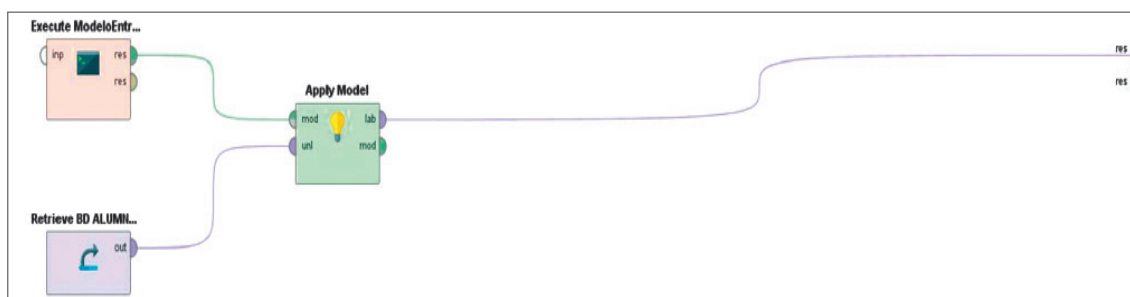


Figura 5. Modelo predictivo resultante

Elaboración propia

5. RESULTADOS

En la fase de comprensión de datos, más precisamente en la verificación de calidad de los datos iniciales, se evidenció en el aspecto socioeconómico (ocupación madre/padre, instrucción madre/padre) y en el aspecto laboral (ocupación, tipo de trabajo), un alto porcentaje de datos perdidos, por lo que estos atributos debieron ser descartados al momento de seleccionar los atributos que formaron parte de la vista minable como datos de entrada para el modelo de entrenamiento.

En la etapa de modelado, se analizaron en primera instancia los resultados que arrojó la matriz de confusión (figura 4) a través de la aplicación de la técnica de minería de datos árbol de decisión, en donde se pudo observar que el modelo de entrenamiento arrojó una tasa de aciertos

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Según lo expuesto anteriormente se pudo construir un modelo predictivo satisfactorio (con un nivel aceptable de tasa de aciertos), que permite determinar la graduación de alumnos de carreras de ingeniería en la UTN Facultad Regional San Francisco a través de la aplicación de la técnica de minería de datos de árboles de decisión.

En cuanto a lo que respecta a la detección de patrones que puedan incidir en la graduación de alumnos, observamos que el árbol de decisión refleja que tienen mayor relevancia los atributos relacionados con aspectos académicos del alumno, mientras los atributos vinculados a aspectos personales tienen menor relevancia.

Por último, cabe destacar que este es un modelo preliminar y que podría mejorarse si se aplica un set de datos con mayor cantidad de atributos y registros o bien a través de la aplicación de una técnica de minería de datos diferente, como puede ser el análisis de *clustering*.

REFERENCIAS

- Bohórquez, K., y Torres, J. (2016). Cómo la ingeniería puede ayudar a la Sociedad. Recuperado de <https://es.calameo.com/read/0048672043c00a6d40983>
- Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires. (2016). ¿Por qué faltan ingenieros? Recuperado de <http://www.colegioingenieros2.org.ar/web/index.php/novedades/archivo-de-novedades/porque-faltan-ingenieros>
- Fernández, M. (24 de enero del 2018). Egresan 8 mil ingenieros por año frente a 34 mil graduados de sociales, abogacía y psicología. Recuperado de <https://www.infobae.com/educacion/2018/01/24/psicologos-y-abogados-pero-no-ingenieros-en-algunas-disciplinas-clave-se-reciben-menos-de-25-alumnos/>
- Fischer, E. (2012). *Modelo para la automatización del proceso de determinación de riesgo de deserción en estudiantes universitarios*. Tesis de maestría. Universidad de Chile. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111188/cf-fischer_ea.pdf?sequence=1
- Goicochea, A. (2009). CRISP-DM: Una metodología para proyectos de minería de datos (artículo de blog). Recuperado de <https://anibalgoicochea.com/2009/08/11/crisp-dm-una-metodologia-para-proyectos-de-mineria-de-datos/>
- La Red, D., Karanik, M., Giovannini, M. y Scappini, R. (2009). Modelos predictivos y técnicas de minería de datos para la identificación de factores asociados al rendimiento académico de alumnos universitarios. *XI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación: WICC 2009, 7-8 de mayo*. San Juan: Universidad Nacional de San Juan. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/53320>

- Naciones Unidas (1987). Día mundial de la población. Recuperado de <http://www.un.org/es/events/populationday>
- Pérez, M. (2015). *Minería de datos a través de ejemplos*. México. Alfaomega.
- Porcel, E., Dapozo, G. y López, M. (2016). Hacia un modelo predictivo de rendimiento académico utilizando minería de datos en la UTN-FRRe. *XVIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación: WICC 2016, 14-15 de abril*. Concordia: Universidad Nacional de Entre Ríos. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/19846>
- Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación (2012). *Plan Estratégico de Formación de Ingenieros (PEFI)*. Recuperado de <http://pefi.siu.edu.ar/>
- UTN Facultad Regional Buenos Aires (5 de junio de 2014). La UTN forma más del 40% de los ingenieros que se gradúan en el país. Recuperado de <https://www.frba.utn.edu.ar/dia-de-la-ingenieria-la-utn-forma-mas-del-40-de-los-ingenieros-que-se-graduan-en-el-pais/>
- Valía, L., Rostagno, J., Berto, E., Boero, D., Zelko, K., Viscusso, S., ..., Amar, E. (2017). Modelo de deserción universitaria en los primeros años de la Carrera Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. *Congreso Nacional de Ingeniería Informática. Sistemas de Información: CONAIISI 2017, 2 de noviembre*. Santa Fe: Universidad Tecnológica Nacional.

A collaborative approach for solving the university course timetabling problem

Carlos Bazilio

carlosbazilio@id.uff.br / Federal Fluminense University. Rio das Ostras, Brazil

Dalessandro Soares Vianna

dalessandrovianna@id.uff.br / Federal Fluminense University. Rio das Ostras, Brazil

Thiago Jeffery Barisao de Lima

thiagojeffery@id.uff.br / Federal Fluminense University. Rio das Ostras, Brazil

Edwin Benito Mitacc Meza

emitacc@id.uff.br / Federal Fluminense University. Rio das Ostras, Brazil

Receipt: 30-6-2018 / Acceptance: 21-8-2018

ABSTRACT. This work proposes a collaborative approach for solving the university course timetabling problem (UCTP). A prototype was developed and used for a computer science course at the Federal Fluminense University in Brazil. The main idea is that students, professors, and course coordinators contribute collaboratively to course timetabling through an app. These contributions employ heuristics, which is responsible for timetabling to improve the solution to the problem. Results and future works are described herein.

KEYWORDS: timetabling, heuristic methods, courses, collaborative applications

Enfoque colaborativo para resolver el problema de la programación de horarios de asignaturas universitarias

RESUMEN. Este trabajo propone un enfoque colaborativo para resolver el problema de la programación de horarios de asignaturas universitarias (UCTP). Se desarrolló y utilizó un prototipo para un curso de ciencias de la computación de la Universidad Federal Fluminense de Brasil. La idea principal es que los estudiantes, profesores y coordinadores de asignatura contribuyan de forma colaborativa a la programación de horarios a través de un aplicativo. Estas contribuciones utilizan la heurística, responsable de la programación de horarios, a fin de mejorar la resolución del problema. Se describen los resultados alcanzados y los trabajos futuros.

PALABRAS CLAVE: programación de horarios, métodos heurísticos, asignaturas, aplicaciones colaborativas

1. INTRODUCTION

Schaerf (1999) defines educational timetabling as the task of scheduling professors' and students' meetings to satisfy their constraints. Said constraints can be the availability of professors, availability of rooms, among other things. These tasks usually require substantial time to be accomplished. In many cases, a single person, as a course coordinator, is responsible for this task.

Collaboration is an activity in which many individuals cooperate in order to accomplish a task. Due to current technological advances, including smartphones and high-speed network interconnection, a lot of complex problems, such as traffic routing, time management, and shared economy, have been managed in a smoother way through blockchain technology. As educational timetabling affects professors, students, and managers, a collaborative approach can increase their satisfaction regarding time scheduling.

This work proposes a collaborative way of solving the course timetabling problem. A VNS-VND heuristic method (Lima, Martins, Vianna, Dianin, & Costa, 2015) with two neighborhood structures (i.e., k-Reschedule and k-Exchange) was used to deal with problem constraints. In k-Reschedule neighborhood, k allocations are randomly chosen and rescheduled (i.e., each of the k allocations is removed from the current day/time and inserted into another day/time.) In k-Exchange neighborhood, k allocation pairs (a1, a2) are randomly chosen. Each allocation pair is inverted (i.e., allocations a1 and a2 exchange their positions.) In the VNS disturbance procedure, neighborhoods 3-Reschedule and 3-Exchange are used. The VND local search method explores neighborhoods 1-Exchange, 2-Reschedule, and 2-Exchange.

Since these constraints differ, Multicriteria Decision Aid (MCDA) methods were applied. Despite adopted heuristic techniques greatly assist in problem solving, achieved solutions still caused dissatisfaction to system users. In order to minimize these issues, our proposal received users' suggestions which could improve heuristic solutions. Thus, an essentially collaborative system is presented. In this system, students and professors are able to interact and comment a provided timetable in order to improve it. Then, it is possible to prepare and communicate better timetables, meeting the requirements and preferences set by professors, students, and course coordinators.

This work has the following sections: Section 2 presents a research related to our approach; section 3 contains the required concepts to understand this proposal; section 4 shows the implemented prototype which has been used by a computer science course; section 5 presents some notes about a recently conducted prototype experiment; and finally section 6 includes our proposal and points out some future works.

2. RELATED WORK

Waze¹ is a mobile application that connects drivers and provides information about streets, and can be sent by other users or inferred by the application. For instance, using locations sent by drivers from time to time, Waze can infer how fast drivers are moving on streets. Then it can advise which tracks should be taken to avoid traffic jams. Routing algorithms try to solve this hard problem, which can be softened by the collaboration of drivers. This inspired us to use collaboration for dealing with the university course timetabling problem.

Authors Babaei, Karimpour, & Hadidi (2015), and Pandey & Sharma (2016) list a number of research studies which address UCTP. A lot of techniques and methodologies, such as heuristics and meta-heuristics, are employed. None of them take collaboration opportunities into account.

Collaborative Design Optimization (Parte, Auroux, Clément, Masmoudi, & Hermetz, 2013) is a research area in which collaboration allows to design processes being made by multidisciplinary teams. Although there is no direct relation between this work and our proposal, multidisciplinary teams can be seen as our system's type of users whose interests may diverge. Many other research studies cited in this text try to solve UCTP, but none of them take collaboration opportunities into account.

3. BASIC CONCEPTS

The university course timetabling problem (UCTP) relates to a number of classes, a number of professors and their constraints, a number of classrooms with their features, a number of students and their desired classes, a number of an institution's business rules which must be respected, and a number of time slots to be filled. UCTP is an NP-hard problem (Babaei *et al.*, 2015) which is often solved by heuristics. Papers proposed by S. & Turabieh (2008), and Yang & Jat (2011) applied genetic algorithms to this problem; other metaheuristics, such as Simulated Annealing, Tabu Search, and Harmony Search, are respectively used by Song, Sanya, Tang, Peng, & Chen (2018), Aladag, Hocaoglu, & Basaran (2009), and Al-Betar & Khader (2012).

Since there are more students than professors, and more professors than course coordinators, we assign in our approach weights to the suggestions depending upon the user type. In order to analyze the suggestion relevance, any user may approve, disapprove, or ignore a suggestion (like, dislike, or do not care). This information is used by heuristics to evaluate the timetable improvement.

¹ See <http://www.waze.com>

Let's suppose S is the total number of students, P is the total number of professors, and C is the total number of course coordinators. For a suggestion, suppose that we get s votes (number of likes minus dislikes) from students, p from professors, and c from coordinators. A suggestion weight varying between $[0,1]$ can be calculated by:

$$\text{Suggestion weight} = (s/S + p/P + c/C) / 3$$

In this work, we do not consider classroom features since, in our institution, all classrooms are the same (i.e., classrooms have a fixed number of students.)

As said in section 1, UCTP deals with a lot of constraints. In order to allow the generation of feasible timetables, those constraints are grouped according to their relevance. Hard or strong constraints mean that requirements must be respected. For instance, a professor cannot be allocated to two classes on the same time and day of the week. Weak or soft constraints make up requirements that heuristics will try to respect. For instance, a professor may point out which time slots should not be allocated to him. When a constraint is not satisfied in a timetable, it acquires a penalty. A successful timetable acquires the smallest number of penalties.

Table 1 lists some hard and soft constraints. Due to lack of space, we listed just a few. Our model consists of 35 constraints regarding students, professors, classes, and suggestions.

Table 1
Main hard and soft constraints

Constraint	Type
Time slots in which a professor cannot be allocated.	Hard
A professor cannot be allocated to two or more classes on the same day and time.	Hard
Maximum number of classes students can attend.	Soft
Maximum number of available classrooms.	Soft

Elaborated by the authors

4. PROTOTYPE DESCRIPTION

Figure 1 depicts the prototype's architecture. This text regards the web module (Módulo WEB) in which all interactions are made. Said module receives suggestions from Internet-subscribed users and print out system results. The fitness module (Módulo Fitness) runs heuristics in order to: (I) generate an initial timetable version based on users' constraints, and (ii) evaluate users' suggestions and propose a better timetable. Communication between fitness and web modules is performed using JSON (JavaScript Object Notation) format for flexibility.

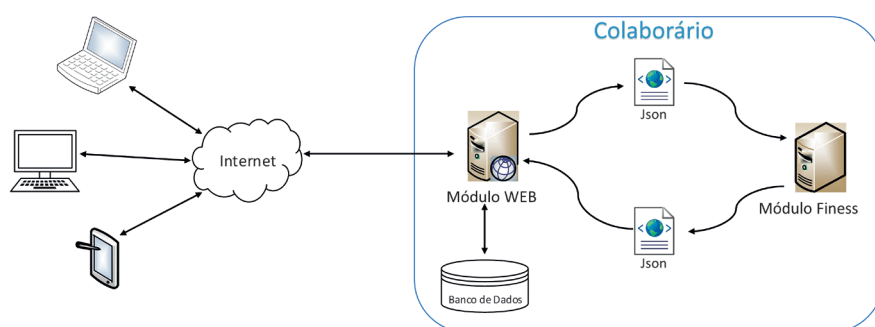


Figure 1. Prototype's architecture

Elaborated by the authors

Data used by the web module is recorded in a database (Banco de Dados in Figure 1). The database model is presented in Figure 2, where students (table *alunos*) and professors (table *professores*) are types of users. Both may give suggestions (table *sugestoes*) which refer to a particular allocation (table *horarios_gerados*). A professor may inform time constraints, which are stored at the table *penalidades_professores*. The table *disciplinas* contains information about the courses that are offered. Professors, students, and courses are aggregated in the classes (table *turmas*). In our case, some classes have fixed timetables. Those classes are recorded in the table *horarios_fixos*. All other tables are relationships between entities.

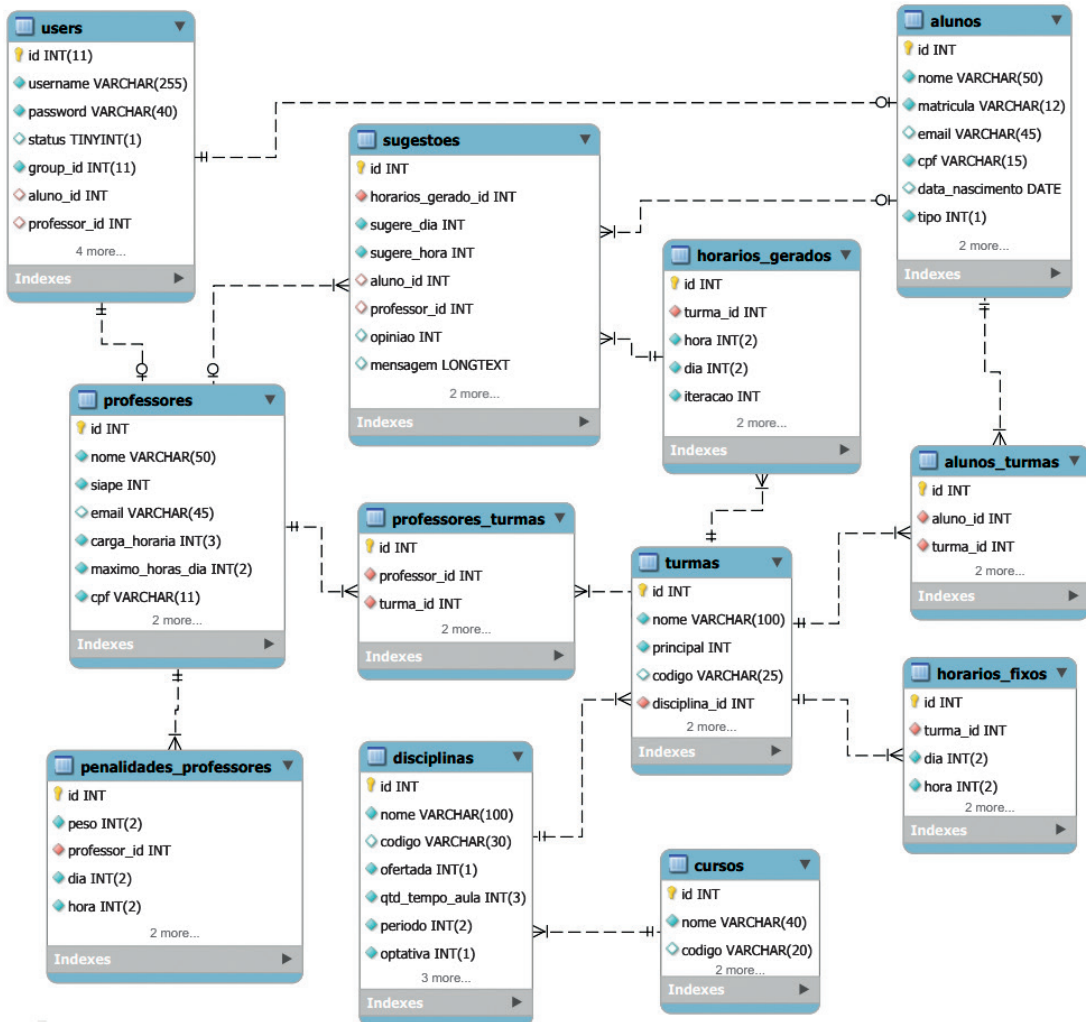


Figure 2. Web module database model

Elaborated by the authors

Regarding the prototype user interface, users may view their classes like in Figure 3 (some classes were omitted for better comprehension). At this figure, a user sees a conflict among the classes he/she desires to attend on Wednesday at 9 am: Eng_Software_C1 and Program_Comput_V1 (red rectangles). Then, they can click on one of them to suggest a change.

Sugerir mudanças

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
7:00				Algeb_Linear_R1	
8:00					
9:00	Program_Comput_V1		Eng_Software_C1 Program_Comput_V1		
10:00					
11:00					
12:00					
Intervalo: 13:00					
14:00					
15:00					
16:00			Matem_Disc_V1		
17:00					
18:00					
19:00					
20:00					
21:00					

Figure 3. Classes window
Elaborated by the authors

Figure 4 presents a dialog where a user suggests an allocation time change. In this case, the user clicked over the Program_Comput_V1 class, and suggested moving the class from 9 am to 3 pm on Wednesday. Besides requesting the allocation time change, the user can justify his/her suggestion (Dê sua opinião at the suggestions dialog) in order to gather supporters (users approving his/her suggestion).

Sugerir novo horário para a turma: Programação de Computadores (V1)

Horário atual: Quarta-feira - 9:00

Dia

Horário

Dê sua opinião

Estou com conflito nesse horário e seria mais interessante ser a tarde essa disciplina...

Figure 4. Suggestions dialog
Elaborated by the authors

In Figure 6, users can see a list of suggestions for each class they desire to attend. The *Algeb_Linear_R1* class was scheduled at 7 am on Thursdays (*Quinta-feira* in the figure) and got a suggestion to be moved to 6 pm on Mondays (*Segunda-feira* in the figure). One user did not care about this suggestion, and another one liked it. The *Eng_Software_C1* class was offered at 9 am on Wednesdays (*Quarta-feira* in the figure) and got a suggestion to be moved to 10 am on Thursdays (*Quinta-feira* in the figure). One user disliked this suggestion and no one else showed his/her opinion. Similar information is shown for the *Matem_Disc_V1* and *Program_Comput_V1* classes which got 2 and 7 suggestions, respectively. The fourth column of the table (*Detalhes*) contains a link for detailed information on each suggestion.

An example of detailed suggestion is shown in Figure 5. This class has a total of five (5) students. As seen before, the current allocated time was 9 am on Wednesdays (*Quarta-feira* in the figure) and a user suggested to move it to Mondays (*Segunda-feira* in the figure) at 11 am.

Sugestões para a turma: Program_Comput_V1

Total de alunos na turma: 5

Horário gerado: Quarta-feira - 9:00

Horário sugerido: Segunda-feira - 11:00

👎 Quem não gostou!	— Tanto faz!	👍 Quem gostou!
<div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px; margin-bottom: 5px;">Coordenador</div>		<div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px; margin-bottom: 5px;">Ricardo Souza</div> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px; margin-bottom: 5px;">Maria Corrêa</div> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;">Prof. Joana</div>

Comentários

Fechar

Figure 5. Detailed suggestion
Elaborated by the authors

Sugestões para suas turmas:				
Turma código	Horário atual	Sugestão	Detalhes	Sua opinião
Algeb_Linear_R1	Quinta-feira - 7:00	Segunda-feira - 18:00		<div style="display: flex; gap: 10px;"> 👎 Não gostei (0) — Tanto faz (1) 👍 Gostei (1) </div>
Eng_Software_C1	Quarta-feira - 9:00	Quinta-feira - 10:00		<div style="display: flex; gap: 10px;"> 👎 Não gostei (1) — Tanto faz (0) 👍 Gostei (0) </div>
Matem_Disc_V1	Quarta-feira - 16:00	Segunda-feira - 7:00		<div style="display: flex; gap: 10px;"> 👎 Não gostei (0) — Tanto faz (0) 👍 Gostei (2) </div>
Program_Comput_V1	Segunda-feira - 9:00	Segunda-feira - 7:00		<div style="display: flex; gap: 10px;"> 👎 Não gostei (0) — Tanto faz (0) 👍 Gostei (3) </div>
Program_Comput_V1	Quarta-feira - 9:00	Segunda-feira - 11:00		<div style="display: flex; gap: 10px;"> 👎 Não gostei (1) — Tanto faz (0) 👍 Gostei (3) </div>

Figure 6. Suggestions report window
Elaborated by the authors

In Figure 5, there is one user who disliked the suggestion (*Quem não gostou!*): the Coordinator; three users who liked it (*Quem gostou!*): Ricardo Souza, Maria Corrêa, and Prof. Joana; and no one who did not care (*Tanto faz!*). Through this dialog, a user can also read all claims on the suggestion (*Comentários*).

Concerning technology and accessibility, nowadays mobile access is a must. Thus, this prototype was implemented in PHP with frameworks for responsiveness. Although PHP was adopted, any web technology could be used to implement these ideas.

5. EXPERIMENT

In order to evaluate the prototype, we conducted a three-day experiment. At the beginning, we had an initialization step. A system administrator entered all offered classes including their corresponding professors. Said professors registered their time constraints as time slots that should (weak constraint) or must (strong constraint) be avoided. Then, the students selected their desired classes. Finally, the course coordinator listed the classes with time allocations that could not be changed (university business rules). All these interactions were done using the web module. Our scenario had 53 classes and 20 professors, and 83 students took part in this experiment.

Next, the web module sent all input data to the fitness module that used heuristics to generate an initial timetable. Then, the fitness module sent back the initial timetable to be presented to the users through the web module.

Afterwards, an iteration cycle was performed. Suggestions were accepted by the web module during a day. At the end of each day, the web module sent the information to the fitness module, which used heuristics to improve the initial timetable. Whenever a timetable was improved, the fitness module sent back the new timetable to be analyzed by users on the next day.

In the first iteration cycle, 24 suggestions were received and just 4 were accepted. In order to include those suggestions, a lot of changes were done in the current timetable. During the second iteration, 6 suggestions were made and none was accepted. Although nothing was included, the current timetable was changed again, reinserting some allocations that were discarded in the first cycle. We guess that the execution time spent by heuristics may infer these changes.

6. CONCLUSION

In this work, we propose a novel approach for dealing with UCTP, which considers the collaboration of users who are affected by a timetable. This opportunity increases the timetable acceptance, since users can participate in the timetabling process. Some constraints may be hard to implement but can be inferred by users' suggestions. As far as we know, this is the first time UCTP has this kind of approach.

The prototype worked fine during the experimentation phase but requires some improvements before being released. The suggestions' weight is an issue that requires more research. Students who are at the end of a course have priority over the other students. A limit on the number of constraints provided by the professors must be set in order to allow better solutions.

Other functionalities such as the addition of suggestions (i.e., a way of suggesting a change in many time allocations at once) should be implemented. A user's reputation is another issue to consider, because it can engage other users. All professors took part but only a few provided precise constraints. Only 10% of the students participated and a quarter of them made suggestions during our tests. The educational institution must plan motivational actions in order to gain more contributors. Future works will also define a mathematical model of collaboration and the way it may change a heuristic behavior.

REFERENCES

- Abdullah, S., & Turabieh, H. (2008, November). Generating university course timetable using genetic algorithms and local search. In *Convergence and Hybrid Information Technology, 2008. ICCIT'08. Third International Conference on* (Vol. 1, pp. 254-260). IEEE.
- Al-Betar, A., & Khader, A. T. (2012). A harmony search algorithm for university course timetabling. *Ann Oper Res, 194*, 3-31.
- Aladag, C. H., Hocaoglu, G., & Basaran, M. A. (2009). The effect of neighborhood structures on tabu search algorithm in solving course timetabling problem. *Expert Systems with Applications, 36*, 12349-12356.
- Babaei, H., Karimpour, J., & Hadidi, A. (2015). A survey of approaches for university course timetabling problem. *Computers & Industrial Engineering, 86*, 43-59. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835214003714> DOI: <https://doi.org/10.106/j.cie.2014.11.010>
- Lima, T. J. B., Martins, C. B., Vianna, D. S., Dianin, M. F. V., & Costa, S. O. (2015). Utilização do método de análise hierárquica (ahp) para definição dos pesos de restrições fracas na re- solução de problemas de programação de horários para uma instituição federal de ensino superior. In *Simpósio brasileiro de pesquisa operacional* (pp. 1-12).

- Pandey, J., & Sharma, A. K. (2016). Survey on university timetabling problem. In *3rd international conference on computing for sustainable global development (indiacom)* (pp. 1-64). IEEE. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/7724247/>
- Parte, Y., Auroux, D., Clément, J., Masmoudi, M., & Hermetz, J. (2013). Collaborative optimization. *Multidisciplinary design optimization in computational mechanics*, 321-367.
- Schaerf, A. (1999). A survey of automated timetabling. *Artificial Intelligence Review*, 13, 87-127.
- Song, T., Sanya, L., Tang, X., Peng, X., & Chen, M. (2018). An iterated local search algorithm for the university course timetabling problem. (To appear in *Applied Soft Computing*).
- Yang, S., & Jat, S. N. (2011). Genetic algorithms with guided and local search strategies for university course timetabling. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 41 (1), 93-106.

Sistema de digitalización y estructuración de información clínica con técnicas de reconocimiento óptico de caracteres y procesamiento del lenguaje natural

Hugo Eduardo Castro Aranzábal
hcastro@aloe.ulima.edu.pe / Universidad de Lima. Lima, Perú

Walter Giancarlo Pinedo Barrientos
walterpinedo.barrientos@gmail.com / Universidad de Lima. Lima, Perú

Recepción: 12-7-2018 / Aceptación: 20-8-2018

RESUMEN. El presente trabajo busca desarrollar un sistema que permita la digitalización y estructuración de los registros clínicos apuntados por el doctor de forma tradicional mediante técnicas de reconocimiento óptico de caracteres y procesamiento del lenguaje natural, resultando en un proceso no intrusivo al flujo de trabajo. Además, permitirá poner a disposición estos datos para trabajos futuros.

PALABRAS CLAVE: reconocimiento óptico de caracteres, visión de computadora, procesamiento de lenguaje natural, máquinas de soporte vectorial, clasificación internacional de enfermedades, frecuencia de término-frecuencia inversa de documento

Clinical information digitalization and structuring system using optical character recognition and natural language processing techniques

ABSTRACT. This work aims to develop a system that allows the digitization and structuring of clinical records written in a traditional fashion by a doctor using optical character recognition and natural language processing techniques, proving in a non-invasive workflow. In addition, it will enable the use of the generated data for future work.

KEYWORDS: optical character recognition, electronic computer vision, natural language processing, international statistical classification of diseases, term frequency – inverse document frequency, support vector machine

1. INTRODUCCIÓN

La tasa de adopción de sistemas de registros clínicos electrónicos en países desarrollados es bastante alta, de 96,4 % entre hospitales (Charles, Meghan y Searcy, 2015), a diferencia de países en vías de desarrollo donde el uso de estos sistemas es mínimo (Candice y Erasmus, 2016). La realidad peruana no difiere tanto; se muestran pasos hacia la adopción de estos sistemas, los cuales se verán acelerados por leyes; un claro ejemplo es la Ley 30024, dictada en el 2013 como Ley que crea el Registro Nacional de Historias Clínicas Electrónicas (Ministerio de Salud, 2013).

Aun cuando algunos centros de salud han empezado a utilizar registros clínicos digitales, cuyo ingreso de datos es realizado manualmente por el doctor, existen otros centros donde únicamente el lapicero y papel siguen siendo usados para la entrega del diagnóstico al paciente. Por lo tanto, al tener toda esta información relevante tanto para el paciente como para la investigación científica del campo (Hilbert, 2015) en un medio no digital y no estructurado dificulta su análisis y administración.

En este escenario, el presente artículo busca la creación de una herramienta que facilite a las instituciones clínicas la transformación de datos no estructurados de los registros clínicos manuscritos a datos estructurados para luego almacenarlos en una base de datos. La herramienta implementará técnicas de reconocimiento óptico de caracteres (OCR) y procesamiento del lenguaje natural (NLP). El presente artículo se basa en la tesis de pregrado *Sistema de digitalización y estructuración de información clínica con técnicas de reconocimiento óptico de caracteres y procesamiento de lenguaje natural* de Castro y Pinedo (2018).

2. METODOLOGÍA

2.1 Digitalización de caracteres

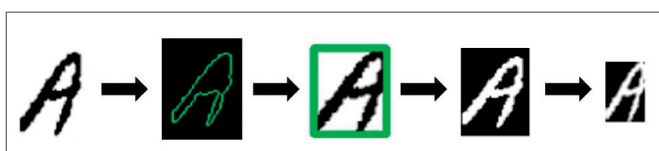
Para el desarrollo del reconocimiento óptico de caracteres se realizaron dos aplicaciones escritas en C++ utilizando las librerías de OpenCV, útiles para el preprocesamiento de las imágenes, y la ejecución del clasificador kNN. Además, las imágenes utilizadas se obtuvieron del NIST Special Database 19 (SD19), hechas por 4169 escritores (Grother y Hanaoka, 2016), con lo que captura una gran cantidad de variaciones por cada letra.

En cuanto a la primera aplicación, esta fue utilizada para la asignación de clases a cada imagen, el preprocesamiento consistió en convertir la imagen a 8 bits, aplicar una binarización adaptativa e inversa de la escala de grises, lo cual simplificará los cálculos dado que las zonas negras tienen un valor de 0 (Ouchtati, Redjimi y Bedda, 2015).

Una vez obtenida la imagen binarizada se procede a identificar su contorno más externo y grande, lo que nos permitirá descartar posibles ruidos y conocer la posición en la que se

encuentra la letra dentro de la imagen, así como realizar el procesamiento solamente en los píxeles donde aparece la letra. Sin embargo, también se eliminará la virgulilla de la ñ, el punto de la i y las tildes.

A partir de la imagen binarizada se extrae solamente el contorno que conforma la letra y redimensiona a un tamaño de 20 por 30 píxeles (Pradeep, Srinivasan y Himavathi, 2011) para tratar imágenes de distinto tamaño, finalmente esta se vectoriza. Este proceso se puede ver en la figura 1. Finalmente, se le asignará una clase representada por el código ASCII decimal y tanto la imagen como las clasificaciones son guardadas en dos archivos de formato XML.



Nota: de izquierda a derecha, detección de contornos, definir región de interés, extracción de región de interés, imagen redimensionada a 20 por 30 píxeles.

Figura 1. Proceso de tratamiento de imagen

Elaboración propia

Para la segunda solución, a modo de prueba se conformó un texto por imágenes no clasificadas, el cual se convirtió a una imagen de 8 bits; se aplicó un filtro bilateral para eliminar ruido gaussiano para luego realizar la binarización. Posteriormente, para detectar las palabras, se dilató la imagen hasta que las letras que estén contiguas se agrupen en lo que se podría describir como una gran mancha blanca. Como siguiente paso se extraen los contornos más exteriores de la imagen y utilizando las coordenadas de cada contorno, se ordenan de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Adicionalmente se redimensionaron las letras a 20 por 30 píxeles y, para mejorar los resultados, se aplicó una técnica de normalización a las letras, la cual permitió enderezarlas a un plano vertical. Con ello, cada una de estas imágenes serán vectorizadas y almacenadas en una matriz. Finalmente, con la data clasificada del proyecto anterior, el kNN podrá encontrar la letra que más se asemeje y se le asignará una clase a cada letra para finalmente conformar las palabras.

2.2 Categorización de texto

Una vez digitalizada la información se plantean dos subprocesos para poder categorizarla y estructurarla: procesamiento del lenguaje natural y clasificación del diagnóstico. En el primero se utilizan librerías especiales para extraer a partir del diagnóstico las posibles categorías de la base ICD-10. En el segundo subproceso se obtienen las posibles categorías y mediante la técnica SVM se logra encontrar la categoría de enfermedad a la que corresponde y se almacena en una base de datos.

El primer subproceso inicia con la clasificación POS (*parts of speech*) que refiere a una clasificación mediante la librería nltk: StanfordPOSTagger (Stanford Natural Language Processing Group, 2015). En esta se utiliza una etiqueta para clasificar cada parte de la oración, como sustantivos (“nc...”), determinantes (“da...”), adjetivos (“aq...”), etcétera (Castro y Pinedo, 2018). Con las etiquetas asociadas a cada palabra se procede con el *chunking*, donde se busca crear patrones que ayuden a seleccionar lo más relevante de la oración, como por ejemplo extraer partes de la oración que contengan sustantivo más adjetivo.

En seguida se aplicará un filtro eliminando las *stop words*, que son palabras que no aportan valor para efectos de análisis de textos. Con este preprocesamiento se obtienen grupos para la evaluación de posibles categorías. Por último, se ejecuta el *stemming*, que es el proceso donde se extrae la raíz de las palabras y con estas se procederá a seleccionar en la base ICD-10 las enfermedades de mayor relación, obteniendo así las posibles categorías de enfermedades para la clasificación.

El segundo subproceso se inicia con la extracción de las posibles categorías. Una vez extraídas se inicia la vectorización. La vectorización es el proceso principal dentro del cual el documento se convierte en un vector, esto se logrará mediante las medidas TF-IDF (Mickevicius, Krilavicius y Morkevicius, 2015), que utilizan el contexto para evaluar la relevancia de una palabra en una colección de documentos. En este caso, la colección de documentos es todo el conjunto de enfermedades de las posibles categorías extraídas, mientras que los términos o *tokens* son las palabras extraídas de las mismas categorías.

Con base en estas medidas se evalúa la relevancia de cada término y se construye el modelo SVM con el vector que indica a qué categoría pertenece cada vector ingresado y el conjunto de vectores, donde existe un vector por posible categoría con los valores TF-IDF en cada columna que corresponde a un *token* cada una; en caso de que el *token* no se encuentre en la posible categoría se colocará el valor de 0, como se observa en la figura 2.

```

Matriz a ingresar:
[ [0, 0, 0, 2, 1, 0, 3, 0, 0, 0],
  [3, 4, 3, 0, 1, 0, 0, 3, 3, 0],
  [0, 0, 3, 0, 1, 0, 3, 0, 3, 0],
  [3, 4, 0, 2, 1, 0, 0, 3, 0, 0],
  [0, 0, 0, 2, 0, 3, 0, 0, 0, 3]]
Vector a predecir (Diagnostics): [0, 0, 3, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0]
    
```

Figura 2. Representación del conjunto de vectores a ingresar y el vector a predecir
Elaboración propia

Por último, para predecir se convierte con los valores TF-IDF al diagnóstico en un vector. Dicho vector se podrá evaluar y clasificar. En caso de que no encuentre una categoría por ser probable que usen algunos términos coloquiales que no están registrados en el ICD-10, entonces el diagnóstico tendrá el código “ZZ100” con descripción “no_catalogado”, que posteriormente pasará a revisión con la intención de enriquecer el diccionario interno del centro de salud (Castro y Pinedo, 2018).

2.3 Validación

Para el reconocimiento de caracteres se aplicó *11-fold cross-validation* porque permite un mejor aprovechamiento de la data que se tiene disponible puesto que cada dato es validado al menos una vez. Con ella se realizó la optimización del número de vecinos cercanos (k); para ello se calculó la sensibilidad asignando a k valores impares comprendidos entre 1 y 21, y se escogió como óptimo aquel número con el que se obtuvo la mayor sensibilidad.

El siguiente tipo de *cross-validation* a utilizar es el de *holdout*, el cual consiste en separar la data de forma aleatoria para el entrenamiento y pruebas (Dadhania y Dhobi, 2012). El primer grupo consiste en 104 000 imágenes, 2000 por cada letra, con las clases conocidas por el kNN que proporciona una muestra balanceada por cada letra. Para las pruebas se usaron 10 400 imágenes, 200 muestras por cada letra, sin clase conocida por el kNN. Resultado de ello se armó una matriz de confusión multiclase de 52 por 52, lo cual permitió calcular la precisión, sensibilidad y especificidad para cada clase.

Para la validación en la categorización de texto se utiliza la técnica *MicroAveraging*, en esta se crean 10 particiones (*10-fold cross-validation*), donde se repite el experimento 10 veces con distintos conjuntos de datos de entrenamiento y evaluación, calculando así los aciertos y fallos en cada clase acumulativamente y calculando sobre estos valores el indicador final. (Perea, Martín, Mointejo y Diaz, 2009). Además se utilizará la base central del Sistema Metropolitano de la Solidaridad (SISOL) de la municipalidad de Lima que contiene enfermedades dadas en dicho centro del año 2004 al 2012.

3. RESULTADOS

En cuanto al OCR, el número de vecinos cercanos óptimo que se obtuvo fue de cinco con una sensibilidad de 77,5 %; con dicho valor y producto del *holdout cross-validation* se obtuvo una sensibilidad promedio de 78,69 %. Es por ello que se aplicó el enderezamiento de letras, donde se obtuvo una exactitud del modelo de 79,53 % y debido a que posteriormente se convertirán a minúsculas se puede dejar de considerar el evento mencionado anteriormente como un error.

Con lo anterior se obtuvo una precisión de 92 % y una sensibilidad de 92,1 %, bastante comparable con los 95,3 % (Rasmussen, Peissig, McCarthy y Starren, 2012) y 92,4 % (Biondich

et al., 2002) encontrados en la literatura, siendo la mayor diferencia que solamente entrenaron un número limitado de caracteres o dígitos, restricción que no podemos realizar. Por otro lado, la especificidad permite concluir que el clasificador puede obtener resultados confiables y diferenciar entre clases un promedio de 99,84 % de veces, ligeramente mayor a la especificidad de 99,6 % (Rasmussen *et al.*, 2012).

Sin embargo, se pueden apreciar clases que resultaron con valores muy diferentes a las demás, como es el caso de la “I”, que posee una precisión y sensibilidad baja debido a su gran similitud con la letra “l” y con la misma “i” (figura 3). Algo similar sucede con la letra “h”, que es confundida en menor medida con la letra “t”; la “q” con la “g”; la “x” con la “Y”, y la “y” con la “v”. En otros casos que suceden con mayor frecuencia, la “i” con la “l”, la “Q” con la “O”, y las letras “a” y “e” con la “c”; la “r” con la “g”, la “j” con la “i”.

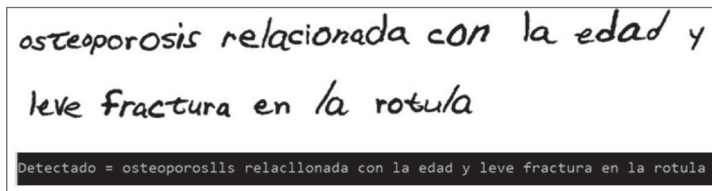


Figura 3. Resultado del reconocimiento óptico de caracteres
Elaboración propia

En cuanto a la clasificación de texto, se evalúa tanto la precisión como sensibilidad individualmente para ver oportunidades de mejora respectivas del modelo y las medidas a tomar. En esta ocasión el mínimo valor que tomó la precisión fue de 83,67 %, mientras que la sensibilidad fue de 79,25 %. Esto se debe a que en ocasiones, al haber algunas categorías iguales de enfermedades, el *software* clasificaba en una categoría “G80” cuando era “G81”.

El resultado final bajo el esquema de *MicroAveraging* es una precisión del 91,53 % y una sensibilidad del 86,06 %. Así como en los estudios anteriores explorados, a comparación de otros algoritmos la técnica evidencia ser un eficaz clasificador que logra catalogar multiclases en el contexto de categorización de enfermedades en español (Castro y Pinedo, 2018).

4. CONCLUSIONES

El presente artículo muestra el flujo para realizar la clasificación de términos médicos con letra imprenta partiendo de su digitalización hasta la categorización de enfermedades en base al ICD-10. En cuanto al reconocimiento óptico de caracteres, el preprocesamiento fue apropiado razón por la cual se obtienen buenos resultados con las imágenes obtenidas del NIST SD19.

Sin embargo, el preprocesamiento requerirá optimización de parámetros al digitalizar imágenes no presentes en esta para enfrentar cambios de iluminación, resolución de la imagen y tanto la calidad del papel como la tinta. Además se recomienda la incorporación de un corrector ortográfico, para corregir errores por la “ñ”, tildes e inclusive errores simples al digitalizar letras como la “i”.

Finalmente se puede concluir que el clasificador kNN utilizado para el reconocimiento óptico de caracteres demuestra un gran potencial a pesar de tratarse de una técnica bastante simple. En suma, el procesamiento de texto mediante técnicas de procesamiento de lenguaje natural y el proceso de categorización mediante la técnica SVM ha sido desafiante en esta oportunidad, debido a que en las investigaciones consultadas no se observa el proceso de vectorización y clasificación de manera tan explícita.

Si bien se pudieron mejorar en gran medida los resultados obtenidos, todavía existe espacio para mejoras, por ejemplo, realizar una extracción de características (Sun, 2015); durante el estudio solo se probó con adelgazamiento de la imagen. Por otro lado, al combinar esta técnica con un enderezado, fue posible mejorar los resultados en un 4 % en algunos casos. Esto se debe a que no solamente se tiene que aplicar esta técnica sola, sino que se tienen que aplicar varias técnicas para extraer múltiples características y obtener mejores resultados (Ouchtati *et al.*, 2015).

Respecto a la categorización de textos se recomienda realizar un estudio más profundo en las técnicas de procesamiento de lenguaje natural que no fueron tratadas y afinar mejor la categorización de enfermedades, esto significa un *chunking* mejorado y un mejor POSTagging para encontrar más preciso el rol de la palabra, así como un trabajo más detallado en el contexto de la oración en el diagnóstico.

REFERENCIAS

- Biondich, P., Overhage, M., Dexter, P., Downs, S., Lemmon, L., y McDonald, C. (2002). A modern optical character recognition system in a real world clinical setting: some accuracy and feasibility observations. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2244242/>
- Candice, N. y Erasmus, L. (2016). Electronic Medical Records: A developing and developed country analysis. Recuperado de http://iamot2016.org/proceedings/papers/IAMOT_2016_paper_32.pdf
- Castro, H. y Pinedo, W. (2018). *Sistema de digitalización y estructuración de información clínica con técnicas de reconocimiento óptico de caracteres y procesamiento de lenguaje natural*. Tesis de pregrado. Universidad de Lima.

- Charles, D., Meghan, G. y Searcy, T. (abril de 2015). Adoption of Electronic Health Record Systems among U.S. NonFederal. Recuperado de <https://www.healthit.gov/sites/default/files/data-brief/2014HospitalAdoptionDataBrief.pdf>
- Dadhania, S., y Dhobi, J. (2012). Improved kNN Algorithm by Optimizing Cross-validation. *International Journal of Engineering Research y Technology (IJERT)* 1(3), pp. 1-6. Recuperado de <http://www.ijert.org/download/135/improved-knn-algorithm-by-optimizing-cross-validation>
- Grother, P., y Hanaoka, K. (2016). *NIST special database 19 hand printed forms and characters*. (Segunda edición). Recuperado de National Institute of Standards and Technology: https://s3.amazonaws.com/nist-srd/SD19/sd19_users_guide_edition_2.pdf
- Hilbert, M. (2015). *Digital technology and social change* (Open Online Course at the University of California, freely available). Recuperado de <https://canvas.instructure.com/courses/949415>
- Mickevicius, V., Krilavicius, T. y Morkevicius, V. (2015). *Classification of short legal lithuanian texts*. Recuperado de <http://bpti.lt/wp-content/uploads/2016/02/bsnlp2015.pdf>
- Ouchtati, S., Redjimi, M., y Bedda, M. (2015). An offline system for the recognition of the fragmented handwritten numeric vhains. *International Journal of Future Computer and Communication* 4(1), pp. 33-39. Recuperado de <http://www.ijfcc.org/vol4/351-C032.pdf>
- Perea, J., Martín, M., Montejo, A., y Diaz, M. (2008). Categorización de textos biomédicos usando UMLS. *Procesamiento del Lenguaje Natural* 40 (pp. 121-127). Recuperado de <http://www.sepln.org/revistaSEPLN/revista/40/todo.pdf>
- Pradeep, J., Srinivasan, E., y Himavathi, S. (marzo de 2011). Neural Network based handwritten character recognition system without feature extraction. En: *International Conference on Computer, Communication and Electrical Technology-ICCCET 2011, 18th y 19th March*, (pp. 40-44). Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/5762513/>
- Rasmussen, L. V., Peissig, P., McCarty, C., y Starren, J. (junio de 2012). Development of an optical character recognition pipeline for handwritten form fields from an electronic health record. Recuperado de <https://jamia.oxfordjournals.org/content/19/e1/e90>
- Stanford Natural Language Processing Group (2015). *Spanish FAQ for Stanford CoreNLP, parser, POS tagger, and NER*. Recuperado de <https://nlp.stanford.edu/software/spanish-faq.shtml>
- Sun, H. (2015). k- Nearest Neighbour and SVM classifier with feature extraction and feature selection. Recuperado de <http://homepages.rpi.edu/~sunh6/15fall6967.pdf>

BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Salud del Perú. (2013). *Registro Nacional de Historias Clínicas Electrónicas*. Recuperado de <http://www.minsa.gob.pe/renhice/?op=1>
- World Health Organization (1993). *The ICD-10 Classification of Mental and Behavioural Disorders, Diagnostic Criteria for Research*. Recuperado de: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/37108/1/9241544554.pdf>

Gestión de proyectos de sistemas de información. Conectando el *agile mindset*, la motivación y el liderazgo para la generación de equipos de alto desempeño

Marco Antonio Fernández del Pomar
marco9129@gmail.com / Universidad de Lima, Lima, Perú

Recepción: 22-6-2018 / Aceptación: 20-8-2018

RESUMEN. El presente artículo describe los pilares fundamentales para la generación de equipos de alto desempeño dentro del ámbito de la gestión de proyectos de sistemas de información. Se describirá cómo la adopción del *agile mindset*, la comprensión de la evolución de la motivación y la interiorización del costo del liderazgo permiten transformar el desempeño de cualquier equipo de personas.

PALABRAS CLAVE: gestión de proyectos, tecnologías de información, sistemas, liderazgo, equipos, alto desempeño, motivación, ágil, marcos de trabajo ágiles, *mindset*

Information systems project management. Connecting agile mindset, motivation and leadership for the creation of high-performance equipment

Abstract. This paper describes the fundamental pillars for the generation of high-performance teams within the scope of the management of projects of information systems. It will be described how the adoption of the Agile Mindset, the understanding of the evolution of motivation and the internalization of the cost of leadership allows to transform the performance of any team of people.

KEYWORDS: project management, information technology, systems, leadership, teams, high performance, motivation, agile, agile methodologies, mindset

1. INTRODUCCIÓN

Han pasado ya 17 años desde la firma del *Agile Manifesto* en el 2001. No obstante, existen aún muchas organizaciones que están recién aprendiendo a adoptar marcos de trabajo ágiles para la gestión de sus proyectos. Y, a pesar de existir infinidad de documentación, casos de éxito, información en la web y *frameworks* libres como SAFe, existen aún múltiples casos de empresas cuyo principal obstáculo para implementar de forma adecuada un marco de trabajo ágil es su propia cultura organizacional.

No es novedad que la cultura de una organización puede jugar en contra al momento de tratar de implementar cambios organizacionales de alto impacto, como es migrar de una mentalidad de gestión de proyectos tradicional hacia una ágil. Sin embargo, la problemática de fondo va más allá de la cultura de la empresa y tiene que ver con aspectos tan fundamentales como una correcta comprensión de la motivación y el liderazgo en nuestras organizaciones.

Existe abundante literatura sobre la motivación de equipos, al igual que sobre liderazgo. A pesar de esto existen aún vacíos parciales sobre estos dos conceptos, los cuales abordaremos para lograr completar la visión necesaria para generar equipos de alto desempeño. Para lograr este objetivo se requiere conocer de dónde viene esta necesidad de motivar a las personas para poder entender cómo aplicar de forma óptima las buenas prácticas de gestión de equipos. De igual forma, es imperativo conocer el aspecto del liderazgo que se ha visto sesgado en un aspecto crítico de su definición; este aspecto es el costo del liderazgo. Este sesgo o limitante en la definición de liderazgo puede ocasionar impactos negativos imprevistos no identificados al momento de gestionar un grupo humano. El impacto de no considerar la visión completa del liderazgo que describiremos a lo largo de este artículo es una de las razones por las que muchas organizaciones batallan para generar el cambio de *mindset* y no logran migrar de forma óptima hacia aquellas prácticas ágiles a nivel corporativo que les permitan generar equipos de alto desempeño.

Por supuesto, no es suficiente con comprender los conceptos planteados en los párrafos anteriores. Es necesario alinearlos con aquellos principios y valores ágiles que no solo son fundamentales para aplicar marcos de trabajo ágiles en la gestión de proyectos, sino que son críticos para llevar a los equipos de proyectos a niveles de desempeño superiores. Esta alineación permite no solamente poder realizar una suave transición hacia un *agile mindset*, sino también facilita a aquellas organizaciones que ya tienen implementada una cultura ágil a optimizar las buenas prácticas de motivación para sus equipos de trabajo y desarrollar líderes con una visión más amplia y sin ningún sesgo en sus prácticas de liderazgo.

2. GENERACIÓN DE EQUIPOS DE ALTO DESEMPEÑO

Actualmente instituciones como el Project Management Institute (PMI), Scaled Agile Framework (SAFe) o Axelos, son las que lideran el mercado en cuanto a guías de buenas

prácticas, marcos de trabajo y metodologías para la gestión de proyectos y temas relacionados. Aquellos que han leído a fondo las principales publicaciones de estas instituciones se darán cuenta de que, a pesar de que estas pueden tener diferentes acercamientos al ámbito de gestión de proyectos y a qué nivel se aplica, tienen en común muchos aspectos respecto al manejo de equipos de proyecto. Específicamente en los siguientes puntos:

- El empoderamiento de los equipos.
- La ejecución de las tareas y actividades propias del proyecto de una forma sostenible en el tiempo y sin desgastar al equipo.
- Mantener y promover un liderazgo adecuado para el equipo.

2.1 Valores del *Manifiesto ágil*

Los aspectos mencionados se encuentran altamente relacionados con el primer valor del *Manifiesto ágil*, que declara que los “Individuos e interacciones [están] sobre procesos y herramientas”. De este valor se desprenden dos principios:

- Construya proyectos en torno de individuos motivados. Bríndeles el ambiente y soporte que necesitan y confíe en ellos para hacer el trabajo.
- Los procesos ágiles promueven el desarrollo sostenible. Los *sponsors*, desarrolladores, y usuarios deben poder mantener un ritmo constante indefinidamente.

Son las personas las que ejecutan los proyectos y hacen realidad el valor generado por estos para las organizaciones. Los escritores del *Manifiesto ágil* identificaron el valor de tener un equipo de personas altamente motivadas e involucradas con el proyecto. Lo cual nos lleva a la pregunta de por qué las organizaciones, 17 años después del *Manifiesto ágil*, aún no tienen del todo claras las consideraciones que se deben tener en cuenta para generar estos equipos superiores. No es la falta de conocimiento sobre los conceptos de motivación y liderazgo sino el desconocimiento de aspectos fundamentales sobre estos lo que ocasiona que muchas veces, al aplicar técnicas o prácticas de motivación y liderazgo, fracasen rotundamente.

Para empezar a entender cómo es que la conexión entre el *Manifiesto ágil*, la evolución de la motivación y el costo del liderazgo nos puede ayudar a generar equipos de alto desempeño, debemos entender cada uno de estos conceptos y cómo es que están relacionados.

Comencemos por entender un aspecto poco conocido sobre la motivación: su evolución. Pink (2011) explica en su libro *Drive*, cómo es que hemos pasado de una motivación 1.0, donde el ser humano solo buscaba aspectos de motivación biológica, tales como comer, dormir y sobrevivir, a una motivación 2.0, la cual surgió con la creación del dinero, que se utiliza para recompensar una actividad específica (trabajo). La lógica de la motivación 2.0 es que recompensar una actividad te dará más de esta. Penalizar una actividad te dará menos de esta.

Esta motivación, también llamada algorítmica, es dominada por el hemisferio izquierdo del cerebro y se caracteriza por relacionarse con la motivación extrínseca. Esta etapa de la evolución es la que existe aún hoy en día y su lógica es aplicada virtualmente en todos los ambientes laborales. Aún seguimos aplicando la misma lógica descrita anteriormente, a través de la cual invertimos tiempo en una actividad específica (trabajo) para recibir una recompensa extrínseca (dinero). Posteriormente Pink (2011) habla sobre la motivación 3.0, mejor conocida como motivación intrínseca, la cual es dominada por el hemisferio derecho del cerebro, el cual también es aquel que controla los aspectos emocionales y creativos de las personas. Es en esta etapa, la motivación 3.0, en la que nos enfocaremos.

Pero se preguntarán: ¿en qué se relaciona la evolución de la motivación con los equipos de alto desempeño? Pues es justamente la falta de comprensión de esta relación la base de la problemática de muchas organizaciones. Pink (2011) relaciona su teoría de evolución de la motivación con la famosa pirámide de necesidades de Maslow (1943). Es así como podemos completar mejor la relación entre la motivación y la generación de equipos superiores.

Todos los miembros del equipo y los seres humanos en general buscan alcanzar el último nivel de la pirámide, la autorrealización (*self-actualization*). La figura 1 muestra esta relación.

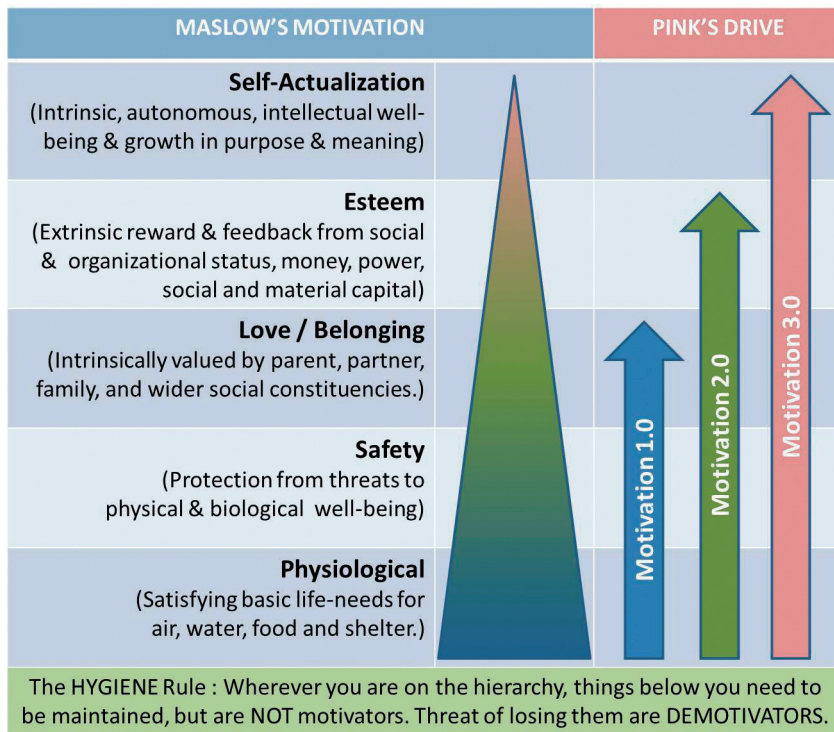


Figura 1. Relación entre teoría de evolución motivacional y pirámide de Maslow

Fuente: Psybertron Asks. www.psybertron.org/archives/5309

2.2 Motivación 3.0

La motivación 3.0 es aquella que se sostiene en cuatro pilares: relación, autonomía, maestría y propósito (RAMP por sus siglas en inglés). Al comprender cada uno de estos pilares nos daremos cuenta de que se refieren a características descritas en la literatura de buenas prácticas de gestión de proyectos. Los equipos deben relacionarse entre ellos de forma óptima; ya que son equipos multidisciplinarios deben tener autonomía para trabajar libremente, deben tener maestría o dominio sobre sus funciones y deben tener un propósito claro. En la figura 2 se muestran las tres etapas de la evolución de la motivación (Pink, 2011).



Figura 2. Las tres etapas de la evolución de la motivación

Elaboración propia

Pero si estas características se encuentran en la literatura de gestión de proyectos, ¿por qué es tan difícil generar equipos de alto desempeño? La respuesta es simple: la mayoría de las empresas mantienen el modelo de motivación 2.0 y, adicionalmente, la típica resistencia al cambio organizacional por parte de altos ejecutivos; el migrar al modelo 3.0 implica un cambio de mentalidad drástico de toda la organización.

El modelo actual promueve, en su mayoría, una motivación extrínseca, por lo que es difícil que los equipos alcancen los cuatro pilares de la motivación 3.0 (RAMP). Es decir, la motivación 2.0 solo se enfoca en el hemisferio izquierdo del cerebro, aquel que usa solo la lógica, mas no llega de forma óptima al hemisferio que controla las emociones y el sentido de propósito, el hemisferio derecho, el cual, cabe resaltar, es el responsable del lado creativo de los seres humanos, y lo más importante es de donde viene aquello que muchas empresas hoy en día desean obtener, la capacidad de que su gente innove.

2.3 Liderazgo en equipos de alto desempeño

Sin embargo, esta teoría revisada por sí sola no explica de forma completa la dificultad de generar equipos de alto desempeño. Aunque las necesidades de los miembros del equipo se

vieran cubiertas y abarcaran el RAMP, aún falta una pieza fundamental: el liderazgo. De igual forma que con la teoría anterior, es necesario comprender un aspecto poco conocido del liderazgo, el costo que implica.

Sinek (2014), en su libro *Leaders Eat Last*, lo explica muy bien. El liderazgo tiene un costo, y uno del cual muchas veces no somos conscientes (o no queremos serlo). El líder debe estar preparado para sacrificarse por su equipo. Esto responde, al igual que lo afirmado por Pink (2011), a una teoría evolutiva histórica del *Homo sapiens*. Los seres humanos somos seres sociales, pero más que eso, nuestras sociedades son jerárquicas.

Hace miles de años, los líderes de las entonces tribus nómadas eran elegidos por rasgos muy específicos. Fuerza, velocidad, agresividad, entre otros. Como en muchas especies animales, el líder de la manada o tribu recibía mayores y mejores recompensas. Comía primero, comía mejor, elegía una (o varias) hembras para prolongar la especie, entre otros beneficios. Hoy en día, nuestras tribus han sido reemplazadas por organizaciones donde los líderes no se eligen por fuerza o velocidad sino por otras capacidades, como inteligencia emocional, conocimientos técnicos, facilidad de habla en público, empatía, etcétera.

A primera vista, para un líder, en cualquiera de las dos épocas, la vida era más simple y acogedora. Sin embargo, el liderazgo no venía gratis. La tribu esperaba mucho en retorno para dar ese ansiado título a quien supuestamente era más capaz. El líder no solo debía guiar a toda la tribu hacia la dirección correcta para sobrevivir en la época de las cavernas. Era responsable de proteger a todos los miembros, de tomar decisiones sobre qué cazar, cuándo, y cómo, de decidir cuándo era momento de migrar o de asentarse en un lugar, etcétera. Pero, sobre todo, se esperaba que, llegado el momento y de ser necesario, el líder se sacrificase por su tribu para salvarla de cualquier amenaza interna o externa. Es esta gran parte del liderazgo la que parece haberse extinguido en muchos de los líderes de hoy.

Ciertamente en nuestra época no nos referimos a sacrificar la vida de una persona si es que el equipo no cumplió con la fecha de entrega del proyecto, pero sí nos referimos a que el líder tome responsabilidad y proteja a cada miembro del equipo de cualquier amenaza externa o interna y cubra sus espaldas, asegurándose de que los miembros del equipo se sientan protegidos y seguros dentro de sus ambientes de trabajo. Esto obedece a una respuesta evolutiva de esperar que la persona liderándote dentro de tu tribu (empresa), se encargue de que tu enfoque sea solo trabajar eficientemente en tus funciones específicas sin tener que dedicar tiempo y energía a preocuparte por las amenazas que rodean al equipo.

La idea de que el líder debe proteger a su equipo o cubrir sus espaldas no es suficiente para asegurar el éxito del equipo. Existe una complejidad mayor, pues esta idea debe ser adoptada en todos los niveles jerárquicos. Pongamos el ejemplo de un gerente de proyectos en una empresa de TI. Este líder de proyecto es responsable de cubrirle las espaldas a su equipo subordinado inmediato, y de protegerlo de amenazas internas y externas.

Sin embargo, hay que considerar que este líder forma parte de una jerarquía de mayor nivel, en la cual reporta a alguien jerárquicamente superior. El líder de proyecto espera que su líder (gerente PMO, por ejemplo) lo proteja de igual forma que él protege al equipo de personas que tiene a cargo. El líder del líder de proyecto espera lo mismo de su líder inmediato superior y así sucesivamente. De esta forma se crea una red de equipos, los cuales pertenecen todos a una tribu más grande, la empresa.

La figura 3 ilustra esta analogía. En la izquierda podemos visualizar al líder de un equipo que delimita su círculo de protección en el cual incluye a su equipo subordinado inmediato, y en la derecha observamos ese mismo equipo formando parte de toda la jerarquía de la empresa.

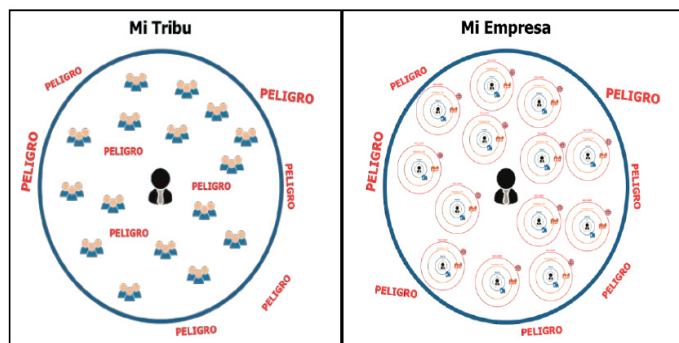


Figura 3. Límite de un equipo y límite organizacional

Elaboración propia

La jerarquía de protección descrita, más el concepto de sacrificio esperado por parte de los líderes, es la pieza restante para comprender qué está faltando en el ámbito organizacional para generar el tipo de equipos que deseamos. Veamos nuevamente la figura 3. A nivel de empresa existirán límites organizacionales, es decir, aquellas líneas definidas que separan a aquellos que pertenecen a la empresa de aquellos que no. Los colaboradores que se encuentran en los extremos de estos límites son aquellos que tienen contacto con el mundo externo a la organización, en otras palabras, son aquellos que tratan directamente con los clientes.

2.4 Los límites del equipo y los límites externos de la empresa

En la medida en que el líder principal de la organización (CEO, gerente general, director) se encargue de proteger a cada miembro de su equipo directo, y cada líder dentro de esta jerarquía se haga responsable de hacer lo mismo con su equipo subordinado, los miembros más lejanos del centro de liderazgo se encargarán de realizar su trabajo de forma óptima, sin tener que preocuparse por los peligros y amenazas al equipo pues comprenderán que su líder directo los

protegerá, y este líder directo solo podrá hacer esta tarea siempre y cuando se sienta él mismo protegido por su líder directo superior. Mientras cada miembro de la empresa se sienta protegido, su enfoque se centrará en el cliente.

No todo lo que se encuentra fuera de los límites de la organización es peligro; ahí también se encuentran los clientes y, por ende, las oportunidades de generar valor para la organización. La figura 4 ilustra esta cadena que se extiende desde el epicentro del poder de la organización hasta los límites externos de la empresa, la cual limita con los peligros externos y las oportunidades.

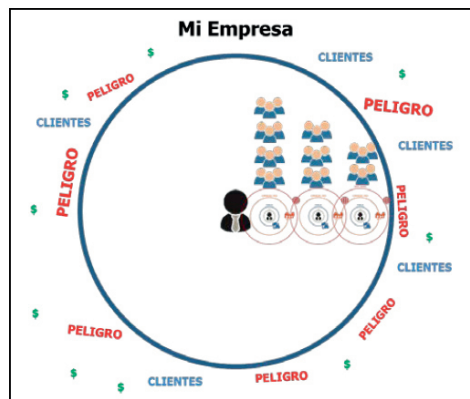


Figura 4. Límite organizacional
Elaboración propia

Kazuo Inamori, un exitoso empresario japonés, resume lo descrito anteriormente en la frase “Si quieres huevos, cuida a la gallina”¹.

Todos los miembros del equipo esperan que su líder directo les cubra las espaldas, no que busque salvarse solo él cuando las amenazas alcanzan al equipo, o que se centre en obtener todos los beneficios del liderazgo sin pretender responder a sus obligaciones con el equipo. En la medida en que el enfoque de la organización se centre en sus colaboradores, estos cuidarán de los clientes.

Es posible afirmar que la gran mayoría de profesionales no tiene problema alguno con que sus superiores reciban una mejor paga, tengan una oficina más grande y disfruten de más y mejores beneficios otorgados por la organización. Esto responde a que, como animales sociales jerárquicos que somos, reconocemos que siempre existirá un alfa en la manda, así como un determinado lugar en la jerarquía para cada miembro. Sin embargo, esta característica social

1 “Kyocera founder’s secret: Make workers happy” <https://www.japantimes.co.jp/news/2015/11/05/business/kyocera-founders-secret-make-workers-happy/#.yHBzfi3mhry>

que arrastramos desde hace miles de años no carece de sentido. Como mencionamos anteriormente, el grupo no le otorga todos estos beneficios al alfa sin esperar algo en retorno. La tribu espera que el líder proteja a todos los miembros.

El término de protección, bajo el contexto actual de las organizaciones, se puede explicar con un ejemplo de la vida real. Barry-Wehmiller, una empresa estadounidense de tecnología se vio fuertemente impactada por la crisis financiera del 2008. Por primera vez en su carrera, el CEO tuvo que considerar el proceso de despido masivo en su compañía, algo, por cierto, muy común en Estados Unidos. Sin embargo, bajo la cultura que él mismo había impuesto, la cual tenía como fundamento el ver a cada miembro del equipo como una familia, esta acción iba en contra de los principios organizacionales establecidos. Robert H. Chapman, el CEO de Barry-Wehmiller, tomo una medida poco convencional que ejemplifica el significado de proteger que el presente artículo pretende explicar.

Chapman implementó un programa obligatorio de licencia sin goce de haber; es decir, todos (incluido el CEO) en la compañía saldrían de vacaciones sin paga alguna. De esta forma se reducía el gasto en planilla y la empresa podría mantenerse a flote durante la crisis financiera. La lógica de Chapman era la siguiente. Es mejor que todos sufran un poco, a que unos cuantos sufran mucho. Tal vez lo primero que se nos vendría a la mente sería que hubo una serie de reclamos en todos los diferentes niveles de la organización por parte de aquellos que no deseaban sacrificarse por otros, especialmente aquellos que se sentían seguros de quedar fuera de la lista del despido masivo que se veía inminente. Sin embargo, este no fue el caso. Todo lo contrario, hubo colaboradores dispuestos a salir de licencia más tiempo, con tal de apoyar a aquellos que no podían dejar de recibir un sueldo completo por un mes. Todos los miembros de Barry-Wehmiller estuvieron de acuerdo con la política. Aquellos que no podían soportar el impacto financiero de salir un mes de licencia sin goce de haber, se vieron apoyados por aquellos que si podían soportarlo financieramente. Nadie fue dejado de lado y nadie fue despedido. Posteriormente, la crisis se asentó y Barry-Wehmiller continúa a la fecha operando (Sinek, 2014).

Esto es un reflejo de la cultura impuesta por el líder supremo de Barry-Wehmiller, que consideraba la protección de cada miembro del equipo como algo fundamental, lo cual ejemplificaba la cultura organizacional. Chapman lo ponía de la siguiente forma: no puedes despedir a tus propios hijos.

El líder pone los intereses de su equipo antes que los de él mismo, ya sea que se trate de aminorar un impacto negativo grande como un despido masivo, o que un área externa o cliente comience a amedrentar a un miembro del equipo. El líder se encargará de poner el pecho para él mismo recibir los golpes de las amenazas antes que dejar que alguien de su equipo sufra.

2.5 Las generaciones y el *agile mindset*

Existe una problemática muy de moda hoy en día en las organizaciones. La diferencia de edad de los miembros de un equipo o, puesto de otra forma, la interacción y roces entre las diferentes generaciones (*boomers*, *gen X*, *millennials*) que coexisten en una organización.

En la gran mayoría de organizaciones existirá resistencia al cambio cuando se trata de un cambio cultural de alto impacto, como es pasar de una gestión de proyectos tradicional a una gestión de proyectos ágiles. Para que una gestión de proyectos ágiles funcione de forma óptima, la organización debe asimilar el *mindset* de forma vertical, desde el CEO y el directorio hasta el miembro más *junior* del equipo. Este cambio, usualmente disruptivo para muchos, tiene casi siempre como barrera adicional el choque generacional. Las generaciones más jóvenes, *millennials* y generación X, tienden a asimilar mejor el *agile mindset* y sus implicancias de cambios.

Considerando que las generaciones más antiguas (*baby boomers*) se encuentran en puestos jerárquicos superiores, el entrenamiento relacionado al *agile mindset* debe ser más abstracto y orientado a beneficios que técnico o de procesos, como lo sería para el *mid-management*. Es imperativo iniciar la capacitación del personal desde la parte superior de la pirámide organizacional, orientándolo a dar a entender los beneficios que se obtendrían al aplicar el *agile mindset* en la organización, para posteriormente pasar a la capacitación del personal de *mid-management* y de primera línea, que serán los que participarán y ejecutarán los proyectos, programas y portafolios.

2.6 El *agile mindset*, el liderazgo y la motivación

Los conceptos, teorías e ideas descritas en este artículo no son ninguna novedad. Los autores del *Manifiesto ágil* identificaron el enfoque en el equipo dentro de sus valores y principios ágiles.

Sin embargo, hacía falta comprender aquellos aspectos ocultos del liderazgo y la motivación para poder entender por qué ciertas técnicas o prácticas de motivación y liderazgo fallaban.

Todo está relacionado con las necesidades de los miembros de un equipo y el tipo de liderazgo que tienen. La figura 5 muestra esta cadena.

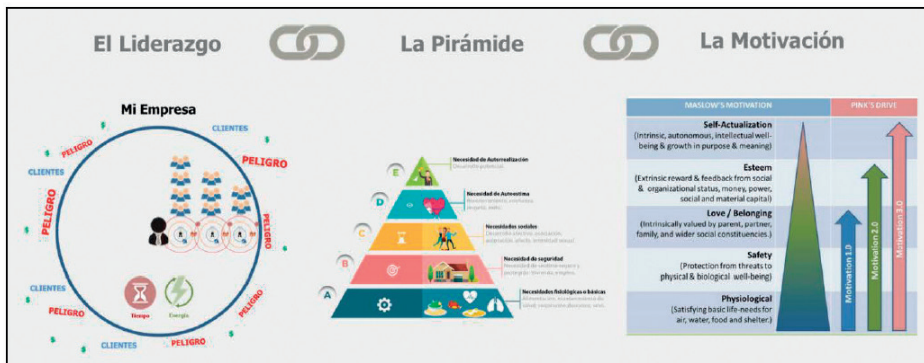


Figura 5. Relación entre el círculo de protección del liderazgo, la pirámide de necesidades de Maslow y las etapas de la evolución de la motivación

Elaboración propia

Con el alineamiento del agile mindset a los aspectos ocultos de la motivación y el liderazgo podemos entender por qué se le da suma importancia al aspecto humano en la gestión de proyectos ágiles. Un equipo de alto desempeño se define como un grupo de personas con roles específicos y talentos y habilidades complementarias que están alineados y comprometidos con un propósito común, y que consistentemente demuestran altos niveles de colaboración e innovación para producir resultados superiores.

No es posible tener un equipo con alta colaboración e innovación si sus miembros no logran alcanzar el último nivel de la pirámide de Maslow (1943), la autorrealización, que es donde se dan la creatividad, la espontaneidad y la resolución de problemas. Es imperativo además comprender la relación directa del nivel de autorrealización con la teoría de la motivación 3.0 de Pink (2011). Sin embargo, por más que se logre alcanzar estos altos niveles de satisfacción entre los miembros de un equipo, el desempeño a largo plazo solo puede ser asegurado por un liderazgo adecuado, en el cual el líder tenga claras sus responsabilidades y el costo que implica ostentar dicho título.

La aplicación de los métodos, marcos de trabajo y buenas prácticas de gestión de proyectos y personas, junto con la comprensión e interiorización de los conceptos e ideas presentadas en este artículo, pueden facilitar, de forma consistente, la generación de equipos de alto desempeño a nivel de proyecto y organización.

3. DISCUSIÓN DE CASOS EMPRESARIALES: NEXT JUMP Y ÉTERNIASOFT

Para ilustrar el significado de estos conceptos tomaremos dos ejemplos de ambientes empresariales reales. El primero es de la empresa Next Jump, una compañía estadounidense de *e-commerce* que nació en el dormitorio de la universidad Tufts en 1994 por iniciativa de su fundador, Charlie Kim.

Para el 2012, Next Jump era ya considerada una empresa exitosa financieramente. Aunque relativamente pequeña en tamaño, su solvencia económica y prospectivas futuras eran sólidas.

Sin embargo, en ese mismo año, su fundador tuvo una muy productiva reunión con el CEO de Barry-Wehmiller, Robert H. Chapman, el mismo que evitó el despido masivo en Barry-Wehmiller. A esta reunión también asistió el exitoso orador de liderazgo, Simon Sinek. En esta reunión Charlie Kim toma la drástica decisión de realizar un cambio organizacional de alto impacto. Es así como, en abril del 2012, Next Jump implementa su política de *No Firing Policy* (Política de No Despido) (Sinek, 2014).

Esta política, además de incrementar los estándares de contratación de personal para la compañía, indicaba explícitamente que a ninguno de sus colaboradores se le podría despedir bajo el pretexto de balancear los libros contables (para reducir costos), errores operativos costosos o bajo rendimiento. La política indicaba que la empresa invertiría tiempo y recursos para identificar la problemática de fondo y ayudar a las personas a superar cualquier obstáculo que impidiera su óptimo desempeño. Las únicas situaciones donde un colaborador podría ser despedido serían si este realizaba acciones fuera al ámbito moral y de los valores de la compañía o si sus acciones atentaban directa y deliberadamente contra sus colegas.

Esta política implantada por el fundador le valió a Next Jump incrementar su rentabilidad de 12 % a 60 % anual en tan solo un año. Incluso el personal que no temía ser despedido por tener un histórico de alto rendimiento notó la diferencia al verse rodeado de colegas cuyo desempeño y motivación aumentaron drásticamente, lo cual generó un incremento en la calidad del clima laboral organizacional y, por ende, un incremento en el desempeño y la rentabilidad de la organización.

En el 2016, Next Jump fue seleccionada como una de las tres compañías que ostentan el título de *deliberately developmental organisation* (organización deliberadamente evolutiva), título otorgado por Robert Kegan en su libro *An Everyone Culture: Becoming a Deliberately Developmental Organization*, publicado por Harvard Business Review; un reconocimiento otorgado por el excelente clima laboral que tiene Next Jump desde la implementación de su política de no despidos.

Charlie Kim siguió un principio muy básico, el de proteger a sus colaboradores como si fueran sus hijos (dijo esto literalmente). Y aunque esto pueda sonar muy poético, si se

implementa a un nivel cultural que afecte verticalmente a la organización, los resultados serán bastante tangibles.

La política generó que los colaboradores se sintieran protegidos e incluidos en la organización independientemente de cuál fuera su puesto, y esto responde a la lógica de que un miembro de un equipo está mejor equipado para aprovechar las oportunidades y afrontar las amenazas externas cuando no percibe amenaza alguna de sus compañeros al interior de la organización.

No es posible exigirles a las personas que confíen, que tengan grandes ideas innovadoras y ciertamente tampoco que cooperen. Estos son siempre resultados, los resultados de que estas mismas personas se sientan seguras y en confianza con los demás miembros del equipo con quienes trabajan y la certeza de que su líder inmediato está ahí para motivarlos y ayudarlos a crecer en vez de amenazarlos con represalias de despido.

El segundo caso de éxito es sobre una empresa de origen peruano llamada Eterniasoft, compañía de tecnología que por el 2013 desarrolló el *software* Sperant, un CRM inmobiliario que actualmente ostenta el mayor nivel de participación de mercado en su rubro.

Su crecimiento vertiginoso desde el 2013, con cero clientes, a la actualidad con más de 60 clientes, no se debió a una gran inversión inicial ni tampoco a las habilidades de programación (promedio) de uno de los fundadores, y ciertamente tampoco a sus oficinas ubicadas en el distrito de San Borja, lejos de los lujos del corazón financiero peruano; ni qué hablar de los sueldos que ha tenido y tiene aún su personal, por debajo del promedio del mercado. Este crecimiento fuera de precedentes se debió a la calidad del *software* que desarrolló la empresa, el cual cumplía con todas las expectativas (y más) de sus clientes. Adicionalmente, las políticas y procesos posventa, enfocadas en la calidad de atención al cliente, le valieron mantener hasta la fecha a cada uno de los clientes que adquirieron al largo de los años. No solo lograban vender el acceso a su CRM *online*, sino que lograban también retener, a través una óptima atención posventa, a todos los clientes que entraban en su red.

Sin embargo, para lograr todo lo descrito anteriormente, Eterniasoft no contrató grandes cantidades de programadores, analistas funcionales, asistentes posventa o genios comerciales. De hecho, hasta ahora mantienen un equipo relativamente pequeño, con 14 colaboradores más los dos socios fundadores. La calidad ofrecida en el *software* y el servicio posventa se vieron soportados por el alto desempeño del equipo, lo cual a su vez se vio soportado por el tipo de cultura organizacional que se sembró en un inicio.

Gonzalo Ramírez, exalumno de la Universidad de Lima y gerente de Desarrollo de Eterniasoft, mantiene hasta la fecha un tipo de liderazgo servicial, inclusivo, el cual se preocupa por que cada miembro de su equipo se encuentre enfocado y cómodo con las funciones que desempeña. No es necesario leer indicadores de desempeño, basta con ir a sus oficinas y darse cuenta de que absolutamente todos sus colaboradores gozan de una flexibilidad de horario de

la que muy pocas empresas peruanas pueden jactarse. Llegar a las 10 u 11 de la mañana es algo que pocos pueden hacer. Recibir un préstamo directo de su empresa para financiar un departamento propio es algo impensable para muchos. Tener almuerzos pagados todos los meses, una fiesta de aniversario y una fiesta de fin de año para generar integración es el estándar para todos los miembros de Eterniasoft. Pero lo más destacable es que todos ellos alcanzan ese nivel de desempeño por la simple razón que se sienten protegidos, incluidos y pueden ver que la cantidad de horas (de más) que le dedican a la empresa es algo que incluso sus propios líderes hacen, por lo que es más fácil seguir el ejemplo. Como costumbre bomberil de su gerente de Desarrollo (quien es bombero voluntario), él suele aplicar lo que llama “Ojo al guía”, es decir, que el líder (guía) debe primero demostrar que puede hacerlo y luego puede exigir a su equipo que lo haga igual o mejor.

Saber que cualquier miembro del equipo responderá el teléfono a las nueve o 10 de la noche para atender un requerimiento de urgencia y, sobre todo, que lo hará con empeño y sin titubear, demuestra el nivel de involucramiento del personal. Eterniasoft sabe hacer sentir incluidos a sus colaboradores, protegidos de peligros externos y lo hace sin establecer políticas estrictas de horarios laborales o penalidades por bajo desempeño, lo hace cuidando de ellos. Como respuesta a este cuidado, cada miembro del equipo de Eterniasoft se compromete profundamente con la calidad de atención que les brindan a sus clientes. Su enfoque no está en lograr el nivel de ventas esperadas, ni en completar la mayor cantidad de requerimientos. Su enfoque está en los clientes, en mantenerlos satisfechos y cuidar de sus necesidades.

Eterniasoft cuida a sus colaboradores y estos, en respuesta, cuidan a los clientes. Este nivel de integración y protección es el mismo que utilizaron Robert H. Chapman y Charlie Kim en sus respectivas organizaciones; aquel que ve a cada miembro de su empresa como miembros de una familia y se preocupa por protegerlos.

Los ejemplos descritos pueden resumirse en el siguiente extracto del libro de Sinek (2014):

- Los líderes son aquellos que corren primero hacia lo desconocido. Ellos se apresuran hacia el peligro.
- Ellos ponen sus propios intereses a un lado para protegernos o para jalarnos hacia el futuro.
- Los líderes primero sacrificarían lo que es suyo para salvar lo que es nuestro y jamás sacrificarían lo que es nuestro para salvar lo que es suyo.
- Esto es lo que significa ser un líder: que ellos escogen ir primero hacia el peligro, ir primero hacia lo desconocido.
- Y cuando nos sentimos seguros de que nos mantendrán a salvo, marchamos detrás de ellos y trabajamos sin cansancio para ver su visión cobrar vida y orgullosamente llamarnos sus “seguidores”.

4. RETOS DE LOS EQUIPOS DE ALTO RENDIMIENTO

4.1 El liderazgo y la falta de habilidades

Las dos empresas tomadas como ejemplo son organizaciones ya establecidas que lograron, a través de una cultura organizacional óptima ya establecida, sacar lo mejor de sus colaboradores. Sin embargo, quedan aún algunas preguntas abiertas respecto a las situaciones que resultan de diversos contextos en los cuales los equipos de trabajo interactúan. Por ejemplo, ¿cómo se ven afectadas la motivación y el liderazgo cuando se trata de un equipo de proyecto sin las *skills* o la *seniority*, necesarias para ejecutar el proyecto asignado? O en una situación similar, cuando el equipo está muy motivado pero deben manejar una tecnología nueva que nadie del equipo domina.

Tomaremos el caso de Eterniasoft descrito párrafos arriba. En sus inicios Eterniasoft no contaba con fondos para invertir en un equipo de desarrollo de *software* de alto desempeño. De hecho, los primeros dos desarrolladores que se incorporaron en un inicio y que a la fecha siguen con la empresa vienen de la ciudad de Cerro de Pasco, de donde decidieron migrar hacia Lima en busca de mejores oportunidades laborales. Sus habilidades de programación apenas alcanzaban el nivel de un programador *middle*. Incluso la única experiencia que poseían era la de trabajar en los laboratorios de su universidad local.

Es innegable que las habilidades blandas son bastante valiosas para el trabajo en equipo, pero las habilidades duras o conocimientos técnicos y conceptuales, son la masilla que usa el líder para crear la escultura. Al carecer de este insumo, el líder tiene un reto mayor, el cual no es solo motivar a un equipo que carece de los suficientes conocimientos técnicos, sino que debe empezar haciendo que el mismo equipo cree su propia masilla (habilidades técnicas) y con el tiempo, el propio equipo impulsará su hambre de conocimiento. La falta de habilidades o *skills* es un reto para el líder.

El reto del líder con un equipo que no cuenta con las *skills* suficientes está primero en asegurar la motivación del equipo para adquirir las habilidades que les faltan. En el caso de Eterniasoft, el desarrollo del primer beta del CRM inmobiliario que crearon demoró aproximadamente un año en salir al mercado. Los fundadores hicieron una inversión, una apuesta por el equipo y sus habilidades. Apostaron por ellos y asumieron el riesgo de desarrollar un equipo para crear un CRM que ahora es líder en el mercado peruano y que ya cuenta con presencia en otros países de Latinoamérica como Ecuador y México.

Un aspecto bastante relacionado al liderazgo y la motivación es el concepto de 100 % responsable. Este concepto indica que cada persona es responsable absoluta de su propia realidad y en este caso particular, hablando de los líderes, estos son responsables del desempeño de cada miembro.

El líder debe ser capaz de identificar las debilidades de los miembros de su equipo para que así, de forma proactiva, se resuelvan, y su desempeño no se vea afectado. El líder no solo es responsable de motivar, sino que cuando incluimos la variable de 100 % responsable, es necesario comprender que, si alguien en el equipo no está rindiendo como debe, es el líder el que debe encargarse de su desarrollo y crecimiento. Es el líder quien debe identificar la forma óptima de explotar las habilidades de cada miembro.

Si el líder no es capaz de llegar a la persona, encontrar lo que la motiva o resolver el conflicto o impedimento para que se desempeñe de forma óptima, entonces se trata de la incapacidad del mismo líder de resolver o superar lo que está impidiendo que aquel miembro de su equipo alcance un desempeño óptimo. Por supuesto, esto parte del supuesto de que la persona que es parte del equipo ha pasado por los filtros necesarios de reclutamiento y selección y cumple con los requerimientos mínimos indispensables para cumplir sus funciones. Si aquel miembro no rinde, es el líder quien debe responder y encontrar una solución apropiada; como dice Jocko Willink, SEAL de la Armada estadounidense en retiro: “No hay equipos malos; solo líderes malos”².

4.2 Cuando se impone a un líder

Una situación común en muchas organizaciones es la imposición de una persona en un puesto de autoridad, lo que impacta en el clima laboral de la organización de diversas maneras, ya sea que el nuevo líder impuesto tenga una reputación conocida o que sus valores no estén del todo alineados con la organización pero logró obtener el título debido a otras variables. Un ejemplo que describe esta situación es el caso de la empresa Fritz Publishing.

Fritz Publishing fue hasta el 2009 la empresa de publicidad más respetada y reconocida en el continente africano. Con casi 50 años de trayectoria, la empresa gozaba de un excelente desempeño debido a su cultura de empoderamiento, inclusión y capacitación de sus 135 colaboradores (Ronnie, 2017).

En el 2009, cuando la familia fundadora decide vender el negocio, un grupo alemán, Prys Group, adquiere la compañía, haciendo un giro de 180 grados en la organización y su cultura. Con un nuevo CEO, cuyas credenciales académicas y logros profesionales convencerían a muchos, Fritz Publishing entró en una nueva era de liderazgo. Sin embargo, y a pesar de que todos los colaboradores decidieron darle una oportunidad al nuevo CEO, el cambio generado no fue para bien.

2 TODAY'S IDEA: No bad teams, only bad leaders (<https://entregurus.com/no-bad-teams-only-bad-leaders>).

El ruso Vadim Arshavin tomó las riendas del negocio. El flamante nuevo CEO era conocido por tener un liderazgo duro y enfocado principalmente en los números; no en la gente. Esto traería como consecuencia que la *ratio* de renuncia de la empresa se disparara a 17,2 %, algo que jamás había sucedido en la historia de la compañía. Adicionalmente el trato con los colaboradores cambió. Si a alguien no les gustaba el nuevo ambiente orientado a resultados, y que dejaba de lado el interés por las personas, era explícitamente invitado a buscar nuevas oportunidades laborales en el mercado.

La contratación de la esposa del nuevo CEO a los 18 meses de iniciado su reinado en la empresa tampoco fue una señal del todo adecuada. Saltándose los procesos formales de contratación, esto tuvo un impacto bastante negativo en los altos ejecutivos (de antes del cambio de liderazgo) que aún permanecían con la compañía. Sumado a esto, el Plan de Equidad Laboral (*Employment Equity Plan*) que Fritz había puesto en marcha años atrás para mantener un equilibrio étnico y cultural dentro de la organización, había sido dejado de lado, lo que ocasionaba que la diversidad étnica original de la empresa se redujera drásticamente.

Como resultado, la moral entre los colaboradores se vio drásticamente disminuida debido a los cambios forzosos que se dieron. La clientela comenzó a notar que los empleados de Fritz, con quienes habían trabajado por años y mantenían contacto directo, se encontraban más desenganchados con el sentido de urgencia de la clientela, que no estaban enfocados en sus funciones y que más bien parecían dedicar más tiempo y energía a otras cosas que no eran la atención y satisfacción del cliente. Ciertamente una imagen muy lejana de la impecable reputación que Fritz había ostentado por varias décadas.

A enero del 2016, Fritz Publishing había dejado de ser la compañía emblemática que una vez fue, donde los colaboradores se sentían protegidos, valorados e incluidos, y donde, a cambio, estos cuidaban a la clientela. Los clientes habían empezado a fugarse de forma masiva hacia la competencia, argumentando que la calidad del servicio había sufrido un revés en los últimos años.

La problemática que se aprecia fue el cambio cultural orientado a los números y no a las personas. Cuando el líder de una organización tiene en su cabeza a los números antes que a los seres humanos que dirige, la cultura organizacional se ve afectada pues la pirámide de la empresa funciona como un tobogán, donde aquel pensamiento fluye desde lo más alto hacia los niveles inferiores de la empresa. Cuando el líder pasa de enfocarse en sus colaboradores a enfocarse en los números, aquella forma de pensar y actuar también se transmite a todos los miembros del equipo.

Esto usualmente se traduce en competencia por comisiones, largas horas de trabajo, enfoque en llegar a la meta, lo cual a su vez resta el tiempo y energía que les dedican a los clientes para enfocarlo en no solo cubrir sus espaldas, sino alcanzar un número a costa de otros.

5. CONCLUSIONES

En el caso de las organizaciones que deseen incorporar metodologías ágiles para la gestión de sus proyectos será necesario primero realizar un análisis de cómo su cultura organizacional se podrá adaptar a los valores y principios ágiles. Si esto no es posible y no es posible establecer un *agile mindset* a lo largo de la organización con su cultura actual, de nada servirá la inversión de tiempo y recursos. La alternativa será un cambio cultural para adaptarse a las metodologías ágiles.

El actual modelo motivacional 2.0 que las empresas tienen necesita empezar a migrar al modelo 3.0, el cual facilitará la generación de equipos de alto desempeño. Sin embargo, se debe considerar que este es un cambio de cultura organizacional de alto impacto y debe realizarse con los procesos y personas adecuadas.

Los equipos de alto desempeño no se crean al azar. Es necesario un apropiado entendimiento de la dinámica de que existe entre la motivación, el liderazgo y la cultura organizacional para identificar cómo crear un ambiente adecuado para alcanzar un desempeño superior.

La aplicación del concepto del círculo de protección del liderazgo no debe reducirse al nivel de proyecto, sino que debe aplicarse a nivel organizacional para que funcione de forma transversal en todas las áreas. Este concepto debe adaptarse y estar embebido en la cultura organizacional si se desea obtener los beneficios identificados y descritos en este artículo.

REFERENCIAS

- Maslow, A. (1943). *A theory of human motivation*. Washington DC: Psychological Review. American Psychological Association.
- Pink, D. H. (2011). *Drive: the surprising truth about what motivates us*. Nueva York: Riverhead Books.
- Ronnie, L. (2017). Leadership challenges at Fritz Publishing. *Emerald Emerging Markets Case Studies*, 7(3), pp. 1-17.
- Sinek, S. (2014). *Leaders Eat Last*. Nueva York: Penguin Group.

BIBLIOGRAFÍA

- Knaster, R., y Leffingwell, D. (2017). *SAFe 4.0 Distilled: Applying the Scaled Agile Framework for Lean Software and Systems Engineering*. Addison-Wesley Professional.
- Project Management Institute (2017). *A guide to the project management body of knowledge. PMBOK guide* (sexta edición). Pennsylvania: Project Management Institute.
- Project Management Institute (2017). *Agile practice guide*. Pennsylvania: Project Management Institute.
- Robins, S. P., y Timothy Judge, T. A. (2013). *Organizational Behavior* (15.^a edición). Nueva Jersey: Pearson Education.
- SCRUM Study (2017). *A Guide to the Scrum Body of Knowledge (SBOK™ Guide)* (3.^a edición). Arizona: VMEdu.

Algoritmo genético con tecnología Blockchain para reducir la entropía de una cadena de suministro

Juan José Miranda del Solar
jjmirand@ulima.edu.pe / Universidad de Lima. Lima, Perú

Max Guillermo Schwarz Díaz
mschwarz@ulima.edu.pe / Universidad de Lima. Lima, Perú

Recepción: 1-6-2018 / Aceptación: 20-8-2018

RESUMEN. La presente investigación desarrolla un algoritmo genético combinado con tecnología Blockchain para gestionar transacciones en una cadena de suministro reduciendo la entropía de la misma. La investigación utiliza un algoritmo genético para gestionar transacciones encriptadas usando el algoritmo sha256, y distribuir las usando Blockchain para el flujo de gestión de las cadenas de suministros con componentes incrementales midiendo la entropía de Shannon de la cadena en Python 3.5 mediante técnicas de simulación. La investigación muestra cómo el uso de la programación genética combinada con tecnología Blockchain permite reducir la entropía de la cadena de suministro reduciendo con ello los costos y tiempos de transacción e incrementando los niveles de seguridad y confiabilidad en el proceso transaccional de toda la cadena.

PALABRAS CLAVE: algoritmos genéticos, Blockchain, cadena de suministro (SCM), entropía

Blockchain-technology genetic algorithm for decreasing entropy in a supply chain

Abstract. The present research develops a genetic algorithm combined with Blockchain technology to manage transactions in a supply chain reducing its entropy. The research uses a genetic algorithm to manage encrypted transactions using the sha256 algorithm and distribute them using Blockchain for the flow management of supply chains with incremental components by measuring Shannon's entropy of the chain in Python 3.5 using simulation techniques. The research shows how the use of genetic programming combined with Blockchain technology reduces the entropy of the supply chain, thereby reducing costs and transaction times and increasing the levels of security and reliability in the transaction process of the chain.

KEYWORDS: genetic algorithms, Blockchain, supply chain management (SCM), entropy

1. INTRODUCCIÓN

El problema de la entropía en las cadenas de suministro (SCM) es un problema complejo que depende de diversos factores, como el número de intermediarios en la ruta desde el fabricante, mayorista, minorista, hasta llegar al cliente (Wever, Wognum, Tienekens y Omta, 2012; Tan y Cross, 2012; AbuKhousa, Al-Jaroodi, Lazarova-Molnar y Nader, 2014); la sincronización de los sistemas de información de los integrantes de la cadena (Horvath, 2001; Badenhorst, Maurer y Brevis-Landsberg, 2013; Al-Odeh, 2016), el capital intelectual acumulado en la cadena expresado como conocimiento, capacitación, entrenamiento o experiencia colaborativa de los integrantes de la cadena (Lin, Hung, Wu y Lin, 2002; Al-Mutawah, Lee y Cheung, 2009; Blome, Schoenherr y Eckstein, 2014; Williams, 2014), el marco regulatorio de las operaciones (Coppens, 2013; Huang, Yang y Wong, 2016), las restricciones tecnológicas, económicas e institucionales del contexto operativo (Kim, 2006; Yahia, 2009; AbuKhousa *et al.*, 2014), el empuje de oferta del fabricante y la tracción de la demanda del mercado (Minculete y Olar, 2016; González-R, Framinan y Ruiz-Usano, 2013), la eficiencia en la gestión de los tiempos y costos transaccionales asociados a la velocidad del flujo y gestión de los activos (Ivanov, Sokolov y Kaeschel, 2011; Kim, Kim, Lim y Park, 2013), y la flexibilidad de adaptación de los componentes de la SCM (Fantazy, Kumar y Kumar, 2009; Candaci, Ngai y Moon, 2011) entre otros factores internos y externos del contexto de las operaciones de la misma. Estos factores combinados generan a su vez una amplia y compleja variabilidad y distorsión en la calidad, contenido, integridad y disponibilidad de la información que se procesa incrementando la entropía de la SCM como lo demuestran los trabajos de Isik (2009), Gerschberger, Engelhardt-Nowitzki, Kummer y Staberhofer (2012), Olatunde, Chan y Wang (2012).

El concepto de entropía de la información fue propuesto por Shannon (1948) en su *Teoría matemática de la comunicación* como una medida del desorden de los sistemas comunicacionales, a semejanza de la entropía fisicoquímica clásica, sobre la base del concepto de la unidad mínima de información transferible de un emisor a un receptor expresado como un múltiplo del logaritmo en base 2 (Isik, 2009). La entropía de Shannon refleja el desorden a partir de la probabilidad de transferencia del mensaje bajo el peso de su contenido, de manera que a medida que un sistema tiene más intermediarios, su entropía será mayor y por lo tanto será más desordenado y viceversa; la entropía se reduce con la menor intermediación posible (Olatunde, Chan y Wang, 2012). En ese contexto existen múltiples maneras de reducir la entropía de los flujos de información presentes en cualquier sistema, pero debido al avance de la potencia computacional sobre la base de la gestión de *big data* en la que operan las actividades empresariales, es necesario probar la factibilidad de uso de las nuevas tecnologías de información, en particular el uso de técnicas de inteligencia artificial y tecnologías Blockchain aplicadas a los procesos de negocio.

El ruido en las cadenas de suministro se presenta por la incertidumbre generada en el proceso de selección y transmisión de alternativas de transacción entre los miembros de la cadena, de manera tal que una cadena de suministro será más entrópica en tanto tenga más

intermediarios y más cantidad de transacciones por resolver en la periferia de la toma de decisiones de cada nodo que la compone y, como indica Isik (2009), esto puede verse seriamente afectado si además la complejidad de las decisiones se vuelve variable y acepta múltiples selecciones como las previstas por Olatunde, Chan y Wang (2012), que pueden ser excluidas con reglas transaccionales predefinidas como en el caso de mercados perfectamente regulados como los previstos en el mercado internacional para importaciones y exportaciones de mercancías (ICONTEC, EUREPGAP y similares).

En el campo de la inteligencia artificial (IA) los algoritmos genéticos (AG) son algoritmos matemáticos de optimización inspirados en la genética humana, que tienen la capacidad de aprender y fijar genes en su mecanismo de operación para acercarse a soluciones de mayor rendimiento, descartando a la vez soluciones cuyos genes no conducen a mejorar los resultados. Normalmente los AG son inicializados con una solución básica, la cual es mejorada con modificaciones y revisada en resultados para admitirse o descartarse según su rendimiento frente a una función objetivo (Kahraman, Kaya y Cevikcan, 2011; Zhao, Zhang y Zhao, 2017). Los AG fueron propuestos por Holland (1975) y se han sofisticado con el avance de la potencia computacional, por lo que actualmente son utilizados en miles de aplicaciones con alta efectividad especialmente en ambientes que procesan grandes volúmenes de datos (*big data*). Los algoritmos genéticos permiten encontrar patrones de rendimiento entre grandes volúmenes de datos para descartar o acercarse a la búsqueda de mejores soluciones a partir del análisis recursivo, identificando características en los conjuntos de datos materia de prueba, de manera tal que se pueda establecer una clara regla que permita probar soluciones con mayor cercanía a la solución óptima esperable que se requiere alcanzar.

La tecnología Blockchain aparece hacia el 2009 y está fundamentada en la operación de una base de datos distribuida en la cual se acumulan bloques de transacciones que son confirmados por consenso en un ambiente de altos niveles de seguridad. Los bloques que se encadenan están constituidos por conjuntos de transacciones firmadas digitalmente para asegurar su integridad y que están disponibles para ser validadas por cualquiera de los nodos participantes en el sistema de la red distribuida. La aparición de esta nueva tecnología disruptiva plantea enormes retos al mercado porque representa una forma segura y confiable de transferir valor sin la necesidad de utilizar intermediarios, reduciendo los tiempos y costos de los procesos de manera radical (Nowinski y Kozma, 2017).

El uso de tecnología Blockchain en combinación con algoritmos genéticos es un tema relativamente nuevo en la literatura y recién ha sido abordado como posibilidad teórica en trabajos recientes por la necesidad de introducir técnicas de inteligencia artificial para el desarrollo de las nuevas aplicaciones de Blockchain, las cuales recién empiezan a ser desarrolladas pues la tecnología Blockchain ha sido principalmente aplicada a las criptomonedas y su aplicación a otras áreas de la industria aún está en un desarrollo incipiente, lo que genera espacio para numerosas investigaciones en el futuro (Woodside, Augustine Jr. y Giberson, 2017; Wu, Li, King, Zina, Wassick y Tazelaar, 2017).

En el contexto de una cadena de suministro (SCM) ampliada independiente del número de intermediarios que existan o de la naturaleza del negocio en el cual se opera, como indican Badenhorst, Maurer y Brevis-Landsberg (2013), existe la enorme necesidad de lograr eficiencia y eficacia en el flujo transaccional que compone la cadena, para lo cual es necesario decidir el procesamiento entre miles de transacciones posibles que se presentan entre los nodos que interactúan, con la utilización de una técnica de inteligencia artificial que permita seleccionar las transacciones óptimas, lo cual será clave para reducir la entropía del sistema. Es ahí donde los algoritmos genéticos pueden hacer la diferencia en un primer momento, hasta lograr seleccionar el juego de transacciones de mayor rendimiento, menor costo y menor tiempo (mejor *fitness*) para el sistema.

A partir de ahí es necesario garantizar que las transacciones optimizadas seleccionadas no puedan ser alteradas circunstancialmente por los nodos, por lo que la tecnología Blockchain se constituye como una excelente alternativa para asegurar la eliminación de incertidumbre durante el flujo al interior de la SCM configurada.

2. METODOLOGÍA

La investigación tiene como objetivo reducir la entropía de las SCM mediante el uso de un algoritmo genético combinado con tecnología Blockchain. Los algoritmos genéticos se utilizarán para priorizar las transacciones que operan en la SCM y la tecnología Blockchain para reducir la entropía del flujo transaccional que opera en la SCM. La entropía será medida como entropía de Shannon con Python 3.5 mediante técnicas de simulación en las SCM con distintos componentes incrementales. A las transacciones se les aplicará una función *hash* utilizando en este caso la función SHA256 (figura 1).

El algoritmo genético propuesto por los autores para la simulación de la SCM se describe como:

```

Inicio F(0)
  inicializar  $\lambda(t)$ ; %Conjunto inicial de transacciones
  evaluar  $\lambda(t)$  en  $\bar{R}$  %evaluar rendimiento en tiempo, costo y rentabilidad
F: Si  $\bar{R}1 < \bar{R}j$  % menor costo, menor tiempo y mayor rentabilidad
  entonces  $\lambda_j = \lambda_i$ 
  calcular patrón j
  cruzar patrón j %
  cruce
  insertar patrón j % mutación
Calcula  $\bar{R}j$ 
  repetir desde  $\lambda_i$  hasta  $\lambda_m$ 
  Si no entonces  $\lambda_i = \lambda_i + 1$ 
  Repite F
Fin F = F_Optimo
Hash (F_Optimo)
    
```

La entropía de Shannon se incorpora al algoritmo de la siguiente manera:

```

Inicio
  Calcular H_Entropia % Entropia de Shannon  $H = \sum(P_i * \log_2 P_i)$ 
  H_Entropia = wentropy(Hash(F_Optimo), 'shannon',  $\bar{R}$ );
  Calcular Delta_E = (H_Efinal - H_Einicial) / H_Einicial % Calcula variación
  Imprime Vector Shannon VS = (H_Entropia,
Delta_E) Fin

```

La configuración de Blockchain se incorpora al algoritmo de la siguiente manera:

```

Inicio
  Definir clase y configuración de bloque % Def Class block
  Encriptar bloque con sha 256 % Hash(FOptimo) y hash de bloque previo
  Enlazar bloque con bloque previo
  Lazo blockchain =
  [create_genesis:block()] Lazo
  previous_block = blockchain[0]
  num_blocks n=1 to m % para m intermediarios en la
  SCM Enrutar acceso de nodos para validar
  Validar bloque % validación por nodos componentes de
  SCM Fin

```

Para efectos de cálculo se utiliza Python 3.5 inicializando con una selección aleatoria de transacciones para su prueba con la cadena SCM en forma abierta para un número creciente de hasta “m” intermediarios y se compara la entropía con el resultado de hacer el flujo con la incorporación del algoritmo propuesto para verificar las entropías de salida.

El procesamiento de datos incluye una selección aleatoria de “n” transacciones posibles dentro de las que podrían definirse típicamente como transacciones probables a ser escogidas en la toma de decisiones empresariales al interior de la SCM, a partir de lo cual se procedió a la asignación aleatoria de *fitness* (combinación rentabilidad-costo-tiempo) por cada transacción, especificando el cromosoma madre como aquel que genera la mejor probabilidad de tener un *fitness* con mayor impacto para una generación de 10 millones de simulaciones sobre 1000 transacciones generadas aleatoriamente, con un ordenamiento resultante en función a la entropía de Shannon que genera cada transacción en su paso por el flujo de la SCM, utilizando un corte del 20 % superior para la selección del juego de transacciones priorizadas que la organización debe elegir para reducir el ruido de su SCM.

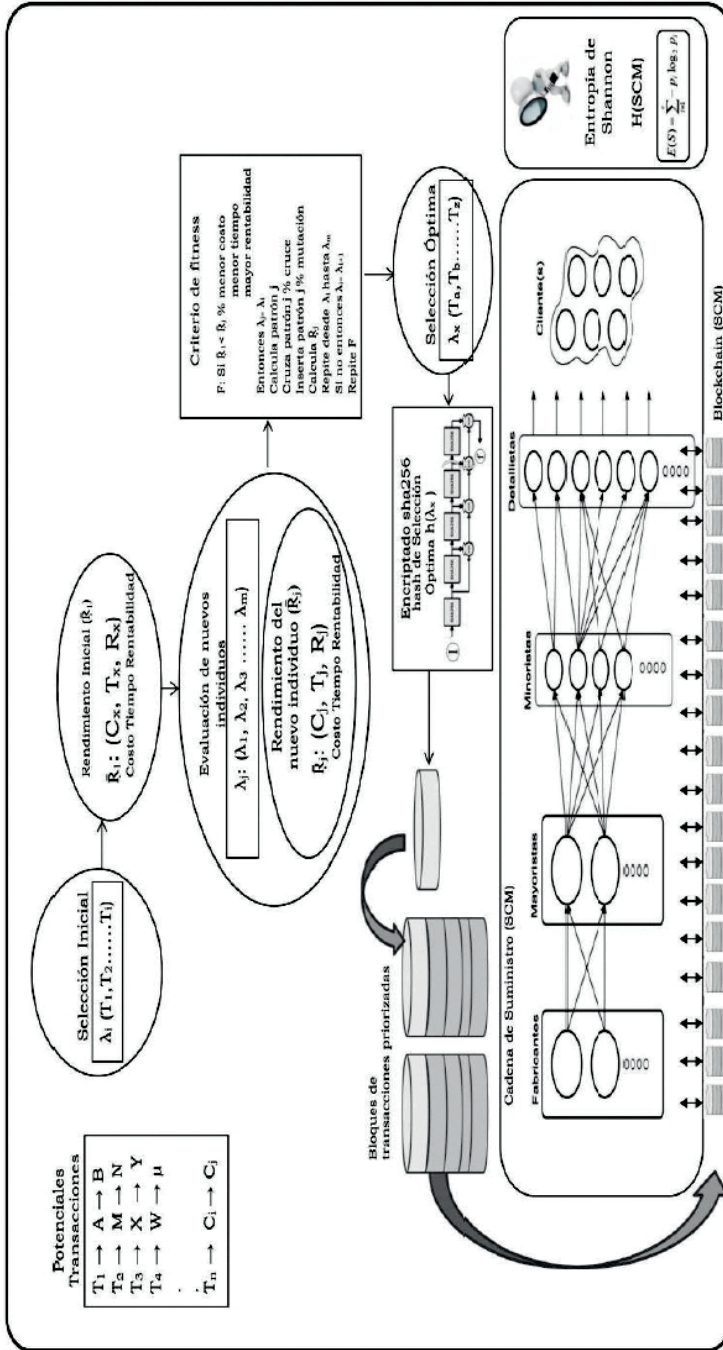


Figura 1. Encrypted SHA256
 Elaboración propia

3. RESULTADOS

Los resultados muestran los siguientes valores de *fitness* sobre la base de análisis de 10 millones de simulaciones, usando el algoritmo genético propuesto y una Blockchain privada de cuatro nodos simulada sobre Hyperledger Fabric versión 1.1:

Muestra SCM con diez intermediarios:

[67, 89, 92, 34, 56, 14, 14, 71, 33, 84]

[41, 83, 43, 29, 17, 25, 66, 74, 83, 93]

[2, 4, 96, 56, 99, 13, 73, 57, 33, 58]

[56, 65, 36, 94, 42, 40, 55, 3, 37, 58]

[30, 44, 70, 65, 41, 5, 20, 14, 5, 90]

[53, 67, 67, 92, 95, 66, 22, 41, 50, 77]

[65, 16, 32, 43, 15, 94, 21, 69, 79, 10]

[21, 82, 60, 57, 75, 96, 88, 37, 36, 18]

[46, 74, 81, 30, 71, 33, 51, 14, 27, 68]

[11, 7, 68, 40, 67, 44, 2, 44, 23, 91]

Muestra SCM con seis intermediarios:

[15, 34, 63, 12, 60, 24]

[90, 79, 22, 95, 2, 5]

[13, 23, 14, 43, 13, 6]

[33, 3, 8, 12, 67, 4]

[62, 77, 2, 52, 8, 45]

[31, 87, 55, 93, 13, 11]

[60, 100, 93, 82, 12, 35]

[12, 30, 36, 3, 81, 65]

[38, 81, 51, 21, 6, 37]

[79, 81, 65, 83, 20, 42]

Muestra SCM con tres intermediarios: [48, 56, 94]

[6, 78, 14]

[54, 28, 7]

[44, 92, 14]

[16, 67, 78]

[81, 19, 82]

[74, 7, 14]

[12, 14, 98]

[19, 22, 18]

[15, 2, 7]

Los valores optimizados de las transacciones para una SCM de 10 intermediarios son los siguientes:

0.04878512347946011

0.0490692630115289

0.050011113848945285

0.04879176665720224

0.049608380690151284

0.0495037040002993

0.048764900380000635

0.04884065760442752

0.04914354359659513

0.04935195562381178

Función fitness: DeltaEntropía = 0.0492

Los valores optimizados de las transacciones para una SCM de seis intermediarios son los siguientes:

0.10460882471157217

0.1039429912716941

0.10356555109507334

0.10362554896434917

0.10498956495212682

0.10507075959013451

0.10463850504772856

0.10356460331729407

0.10459565852267928

0.10333992948491401

Función fitness: DeltaEntropía = 0.1041

Los valores optimizados de las transacciones para una SCM de tres intermediarios son los siguientes:

0.2467253655388147

0.2477000603830717

0.24805288913740953

0.24645815477024427

0.24662242103729418

0.24742073689531716

0.24775772793018158

0.24707166462007746

0.2466148663142314

0.24725007378250927

Función fitness: DeltaEntropía = 0.2471

4. CONCLUSIONES

La investigación demuestra que la entropía de Shannon para el caso del algoritmo genético sobre la base de 10 intermediarios en la cadena, considerando 1000 muestras en 1000 iteraciones y el corte al 20 % de los mejores, es de 4,92 % de reducción de la entropía. De igual forma se demuestra que luego de reducir el número de intermediarios al 60 % se logra una reducción de la entropía de hasta 10,41 % y si la reducción de intermediarios se produce hasta un 30 % se logra una reducción de la entropía de hasta un 24,71 %. Esto significa que consistentemente, a medida que se reducen los intermediarios en la SCM, las reducciones en la entropía son incrementalmente mayores, lo cual es consistente con la realidad empresarial; más aún si se tiene en cuenta que la cadena mínima conformable de una SCM real incluye un mínimo de tres intermediarios; entonces podemos concluir que la máxima reducción de entropía loggable converge a 24,71 % por el efecto directo de la aplicación del algoritmo genético en la selección de las transacciones y de un 99,99 % en el flujo al utilizar la tecnología Blockchain puesto que esta, por su configuración de diseño, anula el ruido de manera estructural, generando una optimización del *fitness* con el que se mide la SCM global.

La investigación demuestra consistentemente que el uso del algoritmo genético propuesto permite una reducción de la entropía de Shannon de la SCM de hasta un 24,71 % en la etapa de priorización transaccional y de un 99,99 % en la etapa de distribución de la información en los SCM usando tecnología Blockchain. De igual forma, a partir de los resultados puede apreciarse que la función de rendimiento mantiene una dependencia sensitiva al número de intermediarios que componen la cadena en mayor proporción que los otros factores estudiados.

La utilización red Blockchain, donde cada intermediario de la cadena es un *peer* de dicha red, debidamente identificado con su llave pública usando algoritmos de firma digital de curva elíptica (ECDSA), donde cada intermediario almacena su llave privada para asegurar la autenticidad y veracidad de la información a transferir como parte del flujo y finalmente aplicando funciones *hash* a este contenido junto con el *hash* del bloque anterior, nos permite un registro distribuido, seguro, inmutable y a prueba de manipulaciones de la información de las transacciones para cada uno de los intermediarios que conforman la SCM, logrando un 99,99 % de confiabilidad y reducción del ruido en el flujo de la información.

Las principales limitaciones de la investigación se presentan en la selección del algoritmo genético a utilizarse en la simulación (dada la amplia variedad de opciones disponibles) y en la naturaleza compleja de la composición de la SCM que requiere evaluarse, ya que no se trata solamente del tamaño de la cadena sino de la complejidad, aprendizaje, cultura y experiencia de cada componente o intermediario que conforma la SCM. Estas consideraciones escapan al alcance de la presente investigación y requieren ser planteadas para investigar con mayor detalle el potencial rendimiento de la SCM en futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- AbuKhoua, E., Al-Jaroodi, J., Lazarova-Molnar, S., y Nader, M. (2014). Simulation and modeling efforts to support decision making in healthcare supply chain management. *The Scientific World Journal*. DOI: 10.1155/2014/354246
- Al-Mutawah, K., Lee, V., y Cheung, Y. (2009). A new multi-agent system framework for tacit knowledge management in manufacturing supply chains. *Journal of Intelligent Manufacturing* 20(5), 593-610. DOI:10.1007/s10845-008-0142-0
- Al-Odeh, M. (2016). Supply chain information systems technologies and management strategies in northern minnesota. *Journal of Supply Chain Management Systems* 5(2).
- Badenhorst, J. A., Maurer, C., y Brevis-Landsberg, T. (2013). Developing measures for the evaluation of information flow efficiency in supply chains. *Journal of Transport and Supply Chain Management* 7(1). DOI:10.4102/jtscm.v7i1.88
- Blome, C., Schoenherr, T., y Eckstein, D. (2014). The impact of knowledge transfer and complexity on supply chain flexibility: A knowledge-based view. *International Journal of Production Economics* 147, pp. 307-316. DOI:10.1016/j.ijpe.2013.02.028
- Candaci, Y. Y., Ngai, E. W. T. y Moon, K.-L. (2011). Supply chain flexibility in an uncertain environment: exploratory findings from five case studies. *Supply Chain Management: An International Journal* 16(4), pp. 271-283.
- Coppens, D. (2013). How special is the special and differential treatment under the SCM agreement? A legal and normative analysis of WTO subsidy disciplines on developing countries. *World Trade Review* 12(1), 79-109. DOI:10.1017/S1474745612000493
- Fantazy, K. A., Kumar, V. y Kumar, U. (2009). An empirical study of the relationships among strategy, flexibility and performance in the supply chain context. *Supply Chain Management: An International Journal* 14(3), pp. 177-188.
- Gerschberger, M., Engelhardt-Nowitzki, C., Kummer, S., y Staberhofer, F. (2012). A model to determine complexity in supply networks. *Journal of Manufacturing Technology Management* 23(8), 1015-1037. DOI:10.1108/17410381211276853
- González-R. P. L., Framinan, J. M., y Ruiz-Usano, R. (2013). A methodology for the design and operation of pull-based supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management* 24(3), 307-330. DOI:10.1108/17410381311318855
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. Boston: MIT Press.
- Horvath, L. (2001). Collaboration: The key to value creation in supply chain management. *Supply Chain Management* 6(5), 205-207.

- Huang, Y., Yang, M., y Wong, Y. (2016). Institutional pressures, resources commitment, and returns management. *Supply Chain Management* 21(3), 398-416.
- Isik (2009). An entropy based approach for measuring complexity in supply chains. *International Journal of Production Research*, 48(12), 3681-3696.
- Ivanov, D., Sokolov, B., y Kaeschel, J. (2011). Integrated supply chain planning based on a combined application of operations research and optimal control. *Central European Journal of Operations Research* 19(3), 299-317. DOI:10.1007/s10100-010-0185-0
- Kahraman, C., Kaya, I., y Cevikcan, E. (2011). Intelligence decision systems in enterprise information management. *Journal of Enterprise Information Management* 24(4), pp. 360-379. DOI:10.1108/17410391111148594
- Kim, K., Kim, T., Lim, D., y Park, H. M. (2013). Managing the supply and demand uncertainty in workforce recruitment: Planned or just-in-time acquisition. *The Journal of the Operational Research Society* 64(11), 1654-1663. DOI:10.1057/jors.2012.152
- Kim, S. W. (2006). Effects of supply chain management practices, integration and competition capability on performance. *Supply Chain Management* 11(3), pp. 241-248. DOI:10.1108/13598540610662149
- Lin, C., Hung, H. C., Wu, J. Y., y Lin, B. (2002). A knowledge management architecture in collaborative supply chain. *Journal of Computer Information Systems* 42(5), pp. 83-94. DOI:10.1080/08874417.2002.11647612
- Minculete, G., y Olar, P. (2016). “Push” and “Pull” systems in supply chain management. correlative approaches in the military field. *Journal of Defense Resources Management* 7(2), 165-172.
- Nowiński, W., y Kozma, M. (2017). How can blockchain technology disrupt the existing business models? *Entrepreneurial Business and Economics Review* 5(3), 173-188. DOI:10.15678/EBER.2017.050309
- Olatunde, A. D., Chan, H. K., y Wang, X. (2012). Entropy assessment of supply chain disruption. *Journal of Manufacturing Technology Management* 23(8), pp. 998-1014. DOI:10.1108/17410381211276844
- Schwarz-Díaz, M. G. (2014). Una medida de la incertidumbre basada en la entropía para cuantificar el impacto de la pérdida de información de los sistemas de gestión. *Paideia XXI* 4(5), pp. 46-56.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3).

- Tan, K., y Cross, J. (2012). Influence of resource-based capability and inter-organizational coordination on SCM. *Industrial Management & Data Systems* 112(6), pp. 929-945. DOI:10.1108/02635571211238527
- Yahia, Z. M. (2009). The collaborative supply chain. *Assembly Automation* 29(2), pp. 127-136. DOI:10.1108/01445150910945589
- Wever, M., Wognum, P. M., Trienekens, J. H., y Omta, S. W. F. (2012). Supply chain-wide consequences of transaction risks and their contractual solutions: towards an extended transaction cost economics framework. *Journal of Supply Chain Management* 48(1), pp. 73-91.
- Williams, A.J. (2014). Transporting tacit supply knowledge in competitive environments: a storytelling perspective. *International Journal of Procurement Management* 7(5), pp. 622-638. DOI:10.1504/IJPM.2014.064622
- Woodside, J. M., Augustine Jr., F. K., y Giberson, W. (2017). Blockchain technology adoption status and strategies. *Journal of International Technology and Information Management* 26(2), pp. 65-93.
- Wu, H., Li, Z., King, B., Zina, B. M., Wassick, J., y Tazelaar, J. (2017). A distributed ledger for supply chain physical distribution visibility. *Information* 8(4), pp. 137. DOI:10.3390/info8040137
- Zhao, Q., Zhang, C., y Zhao, Z. (2017). SCM: A method to improve network service layout efficiency with network evolution. *PLoS One* 12(12). DOI:10.1371/journal.pone.0189336

The digital transformation triangle. A framework to set the foundations for a successful digital journey

Jon Bazán Martínez
bazan.matinez.jon@gmail.com / University of Manchester
Manchester, United Kingdom

Lisette Tucto Mechán
lisette.tucto@gmail.com / University of Manchester
Manchester, United Kingdom

Receipt: 1-7-2018 / Acceptance: 20-8-2018

ABSTRACT. The objective of the research is to analyze the most common barriers to a successful digital transformation. The research is based on case studies and industry papers to find the top barriers to a successful digital transformation. The findings show that cultural issues, the presence of archaic IT systems and applications, the lack of digital skills, and the lack of clear leadership vision are the top barriers. To conclude, a roadmap for digitalization of business is provided as a response to those businesses looking for setting the foundations for a successful digital transformation. This roadmap starts with the business needs and goes to escalation once the benefit is proven.

KEYWORDS: digital transformation, digital growth, the digital transformation triangle, business transformation, digital roadmap

El triángulo de la transformación digital. Un marco para establecer las bases de un viaje digital exitoso

RESUMEN. El objetivo de la investigación es analizar las barreras más comunes para alcanzar una exitosa transformación digital. La investigación se basa en estudio de casos y artículos de la industria para encontrar las más importantes barreras para una exitosa transformación digital. Los resultados muestran que los temas culturales, la presencia sistemas y aplicaciones de TI arcaicas, la falta de habilidades digitales, y la falta de una visión clara de liderazgo son las principales barreras. En conclusión, se entrega una hoja de ruta para la digitalización del negocio como respuesta a aquellos negocios que buscan establecer los cimientos para una exitosa transformación digital. Esta hoja de ruta comienza con las necesidades del negocio y va escalando una vez que el beneficio es alcanzado.

PALABRAS CLAVE: transformación digital, crecimiento digital, el triángulo de la transformación digital, transformación del negocio, hoja de ruta digital

1. INTRODUCTION

The worldwide expenditure on digital transformation (hardware, software, and services) is expected to be \$1.3 trillion in 2018, with a compound annual growth rate (CAGR) of 17.9% over the 2016-2021 period (IDC, 2018). This growth is aligned with the insights found by the IDG survey (IDG, 2018), where 89% of the surveyed organizations have adopted or have plans to adopt a digital-first strategy.

Even if media, telecom, financial services, and retail are the dominant adopters in terms of digitalization, all industries are being disrupted by the digitalization trend, combining information technologies to grow.

As per The World Economic Forum (2016), the transformative power of information technologies lies in their combinatorial effects, which accelerate progress exponentially and are reaching critical mass today.

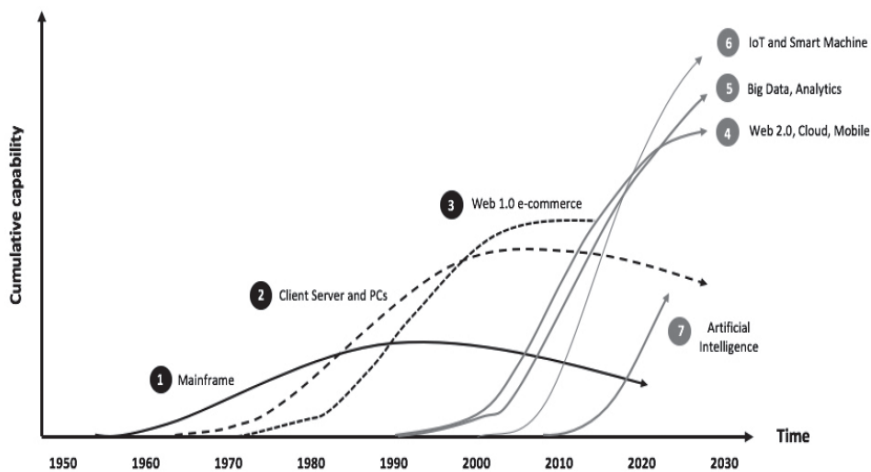


Figure 1. Combinatorial effects of new technologies

Source: World Economic Forum (2016)

Hence, digital transformation refers to the integration and combination of information technologies to business in order to change the way to deliver value to the customer and the way the business operates. As a result, businesses look for digitalization in order to improve customer experience and operational efficiency expecting both top-line and bottom-line growth.

Nevertheless, a survey conducted by Bain & Company with 1,000 organizations across the world showed that only 5% of the companies involved in digital transformation projects reported that they had achieved their expectations.

This paper aims at understanding the most common barriers that companies encounter when they undertake their digitalization journey.

2. METHODOLOGY

This paper is based on a research process that follows the stages mentioned below:

- 1) Research of industry players: case studies and reports to understand the current state of digital transformation across businesses.
- 2) Analysis of drivers behind successful digital transformation strategies.
- 3) Conclusions and proposal of a digital roadmap.

These reports and journals have been obtained from online sources and educational databases. This information provides a view of the landscape of these new trends, and also strengthens the recommendations proposed.

3. RESULTS

Digitalization is causing changes across multiple aspects of business, generating opportunities for value creation, while diverse sources of risk also appear. According to the 2018 Global CEO Outlook survey conducted by KPMG International, only 71% of CEOs are prepared to lead their organizations through a radical transformation (KPMG, 2018).

As per The Digital Culture Challenge (Capgemini, 2017), where a survey was conducted with more than 1,700 people across the world, including senior executives, managers, and employees, more than 6 out of 10 respondents consider culture as the number one barrier to success in digital transformation.

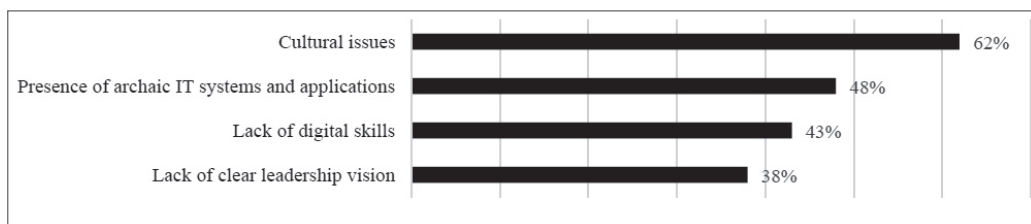


Figure 2. Hurdles to digital transformation

Source: Capgemini Consulting (2017)

As per The Boston Consulting Group, when assessing 40 recent digital transformations, nearly 80% of the companies that explicitly addressed culture change reported strong performance, while none of those companies that neglected culture change reported strong performance (Hemerling, Kilmann, Danoesastro, Stutts, & Ahern, 2018).

Businesses are being disrupted by technology in a way that companies can optimize their relationship with their customers and suppliers, as well as their internal processes, resulting in revenue growth and cost reduction. The research process shows three key elements needed for every digital transformation journey: business strategy alignment, IT capabilities, and culture.

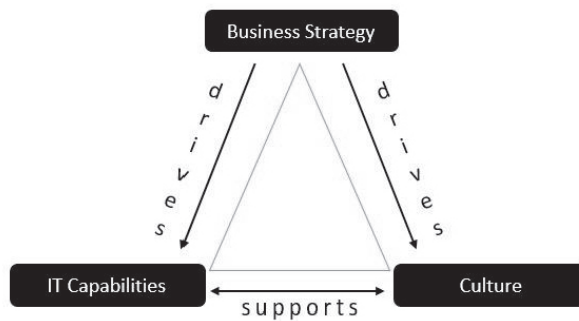


Figure 3. The digital transformation triangle
Elaborated by the authors

Companies are failing in their digitalization process as they are building their IT capabilities and digital transformation teams without a previous business strategy. Companies need to scope their business needs for the short, medium and long term within their strategy first, and then build the technology, infrastructure, and culture that will support that strategy.

The IT capabilities are those virtual elements or platforms and infrastructures that help businesses digitalize their core. The following lines summarize such technologies being used nowadays to solve front-end and back-end issues by companies:

Big data: Its purpose is to extract and analyze the data generated by the business to create value from it. As an example, Big Data is able to personalize the value proposition for the customer (front-end) as well as doing predictive maintenance for the company (back-end) to improve profitability.

Cloud computing: This technology allows businesses to rely on computational and storage capabilities offered by third parties in order to reduce the IT expenditure (both software and hardware). The key of this technology is scalability. Companies can scale easily as the

business grows, since they no longer need to build their own IT infrastructure, resulting in a reduction of capital expenditure.

Artificial intelligence: AI algorithms are capable of substituting human action in many aspects of business. This technology relies on training a machine to learn, so that it reasons and solves problems without the need for a human. Currently, AI is capable of understanding human speech, recognizing images, and performing logical processes.

Internet of things (IoT): The term IoT includes any device connected to the Internet which is increasingly being used for devices (from sensors to wearables) that communicate with each other. The combination of such devices makes possible to gather information and analyze it to help people with particular tasks.

As well as IT capabilities, the culture in the organization has to be aligned and driven by the business strategy to support the digital transformation process. Apart from the exploitation of the business processes, exploration is needed for a successful digital transformation. Exploration is the process where people in the organization think of all the value chain and stakeholders of the business, define projects and technologies to optimize its performance, and explore new options for growth.

The team in charge of exploration can be organized in several ways. There could be a digital team per each business function, a central team interacting with all functions, or even an external team acting as a digital incubator for the company. However, it is necessary that the digital transformation of the company is driven by a specific group of people who are aligned with the managerial board and have access to every function across the business.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

After analyzing the particular business needs of the company at the strategic level, it is concluded that digitalization (building of IT capabilities and culture change) will support the strategy for both top-line and bottom-line growth. The following table suggests a roadmap for such digitalization.

Table 1
General roadmap for digital transformation

Stage	Primary Research	Secondary Research	Result
Exploration and definition of business needs	Interviews with internal stakeholders and initial brainstorming	Desk research on digital initiatives of incumbents, and disruptive competitors and suppliers	Definition of digital transformation needs (to-be) and current digital maturity (as-is)
Definition of potential technologies to address the needs	Feasibility of the specific technologies through interviewing experts, vendors, and customers	Desk research on specific technologies and past implementations	Portfolio of potential technologies to be deployed as part of the digital transformation of the organization
Proof of concept	Internal validation with stakeholders	Further research on IT capabilities and culture change needed to propose technologies to be deployed	Detailed business case and planning for implementation of technologies
Scalability	Interviews with potential partners and funding bodies	Desk research on future needs in order to escalate	Strategy for future growth

Elaborated by the authors

It is important to highlight the importance of the first-stage exploration and definition of needs, as it sets the long-term vision of the company and defines its current digital maturity, addressing the following dimensions: human resources, technology resources, data strategy, content strategy, channel strategy, and social business strategy. This assessment will allow to identify, articulate, and execute digital opportunities.

REFERENCES

Bughin, J., Catlin, T, Hirt, M. & Willmott, P. (2018). *Why digital strategies fail*. McKinsey. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/why-digital-strategies-fail>

Capgemini Consulting. (2017). *The digital culture challenge: closing the employee-leadership gap*. Retrieved from https://www.capgemini.com/consulting/wp-content/uploads/sites/30/2017/07/dti_digitalculture_report.pdf

Grossman, R. & Rickards, T. (2015). *Digital pulse 2015, thought leadership*. Retrieved from <http://www.russellreynolds.com/en/Insights/thought-leadership/Documents/R508039-rr0057-Digital%20Pulse%20v7.pdf>

Hemerling, J., Kilmann, J., Danoesastro, M., Stutts, L & Ahern, C. (2018). *It's not a digital transformation without a digital culture*. BCG. Retrieved from <http://image-src.bcg>

- com/Images/BCG-Its-Not-a-Digital-Transformation-Without-a-Digital-Culture-Apr-2018-new_tcm9-193272.pdf
- IDC. (2017). *IDC Forecasts Worldwide Spending on Digital Transformation Technologies to Reach \$1.3 Trillion in 2018*. Retrieved from <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS43381817>
- IDG. (2018). *The State of digital business transformation*. Retrieved from <https://www.idg.com/tools-for-marketers/2018-state-of-digital-business-transformation-white-paper/>
- Ismail, N. (2017). *Digital transformation: business first, technology second*. Retrieved from <https://www.information-age.com/digital-transformation-business-first-technology-second-123468564/>
- KPMG. (2017). *Global CEO Outlook country reports*. Retrieved from <https://home.kpmg.com/xx/en/home/insights/2017/06/2017-global-ceo-outlook-country-reports.html>
- Kubrick, K. (2014). Six dimensions of digital maturity. *Digital strategy conference*. Retrieved from <https://www.onlineauthority.com/blog/six-dimensions-of-digital-maturity-introductory-review>
- Sauvé, D. (2018). *New digital maturity model for brand packaging*. Retrieved from <https://www.simplifmypackaging.com/home/white-paper-2018-digital-maturity-model-brand-packaging>
- The World Economic Forum. (2016). *Digital transformation of industries demystifying digital and securing \$100 trillion for society and industry by 2025*. Retrieved from <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef1601-digitaltransformation-1401.pdf>

Perfiles

ÁLEX MIDWAR RODRIGUEZ RUELAS

Correo electrónico: alrodrig@dca.fee.unicamp.br

Bachiller en Ingeniería Electrónica por la Universidad del Altiplano (UNAP), Perú; sigue estudios de M.Sc. en la Universidad de Campinas, Brasil. Fue profesor asistente en la Facultad de Tecnología, UNICAMP, el 2015. Sus principales intereses están en SDN, NFV, Cloud Computing, IoT, y lenguaje P4; prepara una tesis sobre el método de equilibrio de carga para un centro de datos basado en OpenFlow utilizando redes neuronales.

ANDREA ZANELLA

Correo electrónico: zanella@dei.unipd.it

Doctor en Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones por la Universidad de Padua e ingeniero informático por la misma universidad. Es profesor asociado en el Departamento de Ingeniería de la Información (DEI) de la Universidad de Padua (ITALIA). Ha sido profesor visitante en el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA). Es uno de los coordinadores del Laboratorio de investigación Signals and Networking (SIGNET); desarrolla actividades de investigación en el campo del diseño de protocolos, la optimización y la evaluación del rendimiento de redes cableadas e inalámbricas. Es editor del área técnica del *IEEE Internet of Things Journal* y editor asociado del *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, *IEEE Communications Surveys and Tutorials* y *Digital Communications and Networks* (DCN).

ARMANDO FERMÍN PÉREZ

Correo electrónico: fferminp@unmsm.edu.pe

Ingeniero electrónico por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Se desempeña como docente asociado y miembro del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática de la UNMSM, donde se encuentra a cargo del Laboratorio de Robótica e Internet de las Cosas. Es miembro de ACM e IEEE (CAS, RAS, CIS, EMBS, IoT, *big data* y otros). Fue investigador principal en el proyecto Desarrollo de un prototipo de foco LED inteligente, financiado por Fidecom Innovate Perú 2018.

CARLOS BAZILIO MARTINS

Correo electrónico: carlosbazilio@id.uff.br

Doctor en Ciencias de la Computación por la Universidad Federal Fluminense y profesor asociado en la misma universidad. Miembro del Programa de Posgrado en Ingeniería de Producción y Sistemas Informáticos (MESC) y del Laboratorio de Innovación en Desarrollo de Sistemas (LabIDeS) en la mencionada casa de estudios. Sus intereses de investigación incluyen lenguajes de programación, sistemas web, optimización de *software*, programación paralela y concurrente y educación en computación.

CHRISTIAN ESTEVE ROTHENBERG

Correo electrónico: chesteve@dca.fee.unicamp.br

Profesor asistente en la Facultad de Ingeniería Eléctrica e Informática (FEEC) en la Universidad de Campinas (UNICAMP), Brasil, donde obtuvo su Ph.D. y actualmente lidera el Grupo de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Redes (INTRIG). Sus actividades de investigación abarcan todas las capas de los sistemas distribuidos y arquitectura de redes que se llevan a menudo en colaboración con la industria, dando como resultado múltiples proyectos de código abierto en SDN y NFV, entre otros.

CLARA MERCEDES GUEVARA VÉLEZ

Correo electrónico: meche18_1295@hotmail.com

Titulada en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, de Chiclayo (Perú); actualmente realiza una Maestría en IS con mención de Gerencia de Sistemas Informáticos en la Universidad Privada del Norte. Cuenta con especializaciones en Aprendizaje Automático y Big Data obtenidas por Google Cloud e IBM, así como también en Seguridad y Auditoría de SI por la Universidad Privada del Norte y en Auditoría Contable por la

Universidad Mayor de San Marcos. Labora en la Gerencia de Desarrollo Vial y Transportes de la Municipalidad Provincial de Chiclayo, como jefe de área de Informática y líder de proyectos de desarrollo; al mismo tiempo, es investigadora y ponente en diversos congresos, como CIIS 2018, Iberamia 2018 y Isaca-Intersys 2018.

CLAUDIO JOSÉ CARRIZO

Correo electrónico: cjarrizo77@gmail.com

Ingeniero de Sistemas por la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Francisco, provincia de Córdoba, Argentina. Es director de proyectos de investigación y desarrollo en las áreas temáticas de Bases de Datos y Calidad de Software. Se desempeña como docente investigador a tiempo completo en la UTN-San Francisco, donde imparte las materias de Algoritmos y Estructura de Datos y Calidad de Software; asimismo, es profesor en la Tecnicatura Universitaria en Programación en la asignatura Diseño y Administración de Base de Datos. Tiene más de diez años de experiencia profesional como desarrollador de sitios y aplicaciones.

DALESSANDRO SOARES VIANNA

Correo electrónico: dalessandrovianna@id.uff.br

Doctor en Ciencias de la Computación por Universidad Federal Fluminense (UFF) y docente en la misma universidad. Ocupó el cargo de vicedirector del Instituto de Ciencia y Tecnología (TIC) y fue miembro del Programa de Postgrado en Ingeniería de Producción y Sistemas Informáticos de la UFF (MESC/UFF). Sus intereses de investigación incluyen investigación de operaciones, logística, metaheurística, inteligencia computacional, programación paralela, programación matemática y análisis de decisión de criterios múltiples.

DAVID J. JOHN

Correo electrónico: djj@wfu.edu

Doctor en matemáticas y magíster en ciencias de la computación por la Universidad de Emory. Se desempeña como profesor de ciencias de la computación en la Universidad de Wake Forest. Durante los últimos seis años ha participado activamente en el grupo de investigación interdisciplinario BioNet de la Universidad de Wake Forest. El enfoque del grupo es inferir algorítmicamente las interacciones entre genes y proteínas de mediciones de laboratorio de series temporales dispersas. Su contribución a este trabajo ha sido en el desarrollo y análisis de algoritmos de modelado de interacción.

EDWIN BENITO MITACC MEZA

Correo electrónico: emitacc@id.uff.br

Doctor en Ciencias de la Computación por la Universidad Federal Fluminense (UFF), donde actualmente ejerce la docencia. Ocupa el cargo de director del Instituto de Ciencia y Tecnología (ICT/UFF) y es miembro del Programa de Posgrado de la UFF en Ingeniería de Producción y Sistemas Informáticos (MESC/UFF). Sus intereses de investigación incluyen investigación de operaciones, logística, metaheurística, simulación computacional, inteligencia computacional, programación matemática y análisis de decisión de criterios múltiples.

FERNANDO ANTONIO TELLO SÁNCHEZ

Correo electrónico: feranto31@hotmail.com

Bachiller en Ingeniería de Sistemas por la Universidad de Lima. Cuenta con experiencia en desarrollo de *software*, *testing* de aplicaciones y realización de eventos corporativos. Posee amplios conocimientos de lenguajes de programación como Java, Python, PHP, Visual Basic. Consultor de nuevas tecnologías y transformación digital en Management Solutions, anteriormente se desempeñó como *marketing trainee* en Mediterranean Shipping Company, *software development trainee* en Canvia y como *software quality assurance trainee* en la Universidad de Lima.

GLORIA MUDAY

Correo electrónico: muday@wfu.edu

Graduada en Ciencias en el Instituto Politécnico de Virginia y Ph.D por la Universidad Purdue, Estados Unidos. Es directora del centro de señalización molecular y coordinadora de la especialización en bioquímica y biología molecular y se desempeña como docente del Departamento de Biología de la Universidad de Wake Forest. Sus áreas de interés para la investigación son la señalización hormonal y redox, los flavonoles, la bioquímica y la biología molecular.

HANS-CHRISTIAN HEGE

Correo electrónico: hege@zib.de

Realizó estudios de posgrado en física computacional y teoría cuántica en la Universidad Freie de Berlín. Se incorporó al Instituto Zuse de Berlín (ZIB) como consultor científico para computación de alto rendimiento. En 1991 comenzó a desarrollar el Departamento de Visualización Científica en ZIB, actual Departamento de Análisis de Datos Visuales, donde se lleva a cabo investigación en este campo y se desarrolla *software* de visualización. Cofundó tres compañías: Mental Images en 1986 (hoy NVIDIA Advanced Rendering Center), Indeed-Visual

Concepts en 1999 (actualmente Visage Imaging) y Lenné3D en el 2005. Sus intereses de investigación incluyen computación visual y análisis de datos visuales, con aplicaciones en ciencias de la vida, ciencias naturales y humanidades digitales. Fue profesor invitado en la Universitat Pompeu Fabra de Barcelona y profesor honorario en la Escuela de Cine Alemán, Escuela de Cine Babelsberg y Mediadesign Hochschule. Se desempeña como jefe del Departamento de Análisis Visual de Datos en el Instituto Zuse de Berlín (ZIB). Es miembro de la plana docente de la Escuela de Matemáticas de Berlín (BMS) y de los consejos editoriales de la serie de libros “Matemáticas + Visualización” (Springer), así como de las revistas científicas *Computación y Visualización en la Ciencia* y *GMS Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie*.

HUGO EDUARDO CASTRO ARANZÁBAL

Correo electrónico: hcastro@aloe.ulima.edu.pe

Ingeniero de sistemas por la Universidad de Lima, con estudios complementarios en Machine Learning, Deep Learning y Computer Vision. Ha trabajado en IBM Perú como administrador de sistemas SAP, así como en EY (ex Ernst & Young), donde formó parte del proyecto de Audit Analytics. Se desempeña como ingeniero de Big Data en el área de Inteligencia Artificial de Everis Perú, donde ha automatizado procesos de ingesta, optimizado el preprocesamiento de grandes volúmenes de datos para que sea factible el entrenamiento de un modelo basado en redes neuronales, ha mejorado un sistema de recomendación, entre otros temas relacionados con Big Data y Machine Learning.

JAMES L. NORRIS

Correo electrónico: norris@wfu.edu

Doctor en Estadística por la Florida State University; es miembro del Departamento de Matemáticas de la Universidad de Wake Forest, Estados Unidos, donde actualmente es profesor titular. A lo largo de su trayectoria en investigación ha mantenido un enfoque en el desarrollo de métodos estadísticos para entornos biológicos. El mayor énfasis de su trabajo reciente se encuentra en el modelado de redes de señalización biológica e interacción de genes.

JOHANNA PAOLA GORVENIA YNFANZÓN

Correo electrónico: jgorvenia@hotmail.com

Bachiller en Ingeniería de Sistemas por la Universidad de Lima. Cuenta con experiencia en redes e infraestructura, desarrollo de *software*, *testing* de aplicaciones y auditoría de procesos y sistemas. Posee conocimientos de lenguajes de programación: Java, Python, Visual Basic; manejo de sentencia en base de datos: MySQL, Oracle; manejo de *software* de auditoría, análisis

de datos y generación de informes: ACL y ACE. Labora en Pricewaterhousecooper Perú como *systems & process assurance associate*; anteriormente se desempeñó como *systems & IT process assurance trainee* y como *IT infrastructure laboratory trainee* en la Universidad de Lima.

JON BAZÁN MARTÍNEZ

Correo electrónico: bazan.matinez.jon@gmail.com

Bachiller en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco, España, y MsC en Ingeniería Industrial por la misma universidad. Dedicó su carrera profesional a la industria aeronáutica y automovilística, así como al sector público. Posee amplia experiencia en optimización de operaciones mediante la implementación de estrategias de Big Data, sensorización e inteligencia artificial, se ha especializado en estrategia de tecnología e innovación con MBA en Gestión de Negocios por la Manchester Business School. Se desempeña como consultor, dando soporte a organizaciones en la comprensión del valor de las tecnologías emergentes en su estrategia de negocio.

JORGE GUERRA GUERRA

Correo electrónico: jguerrag@unmsm.edu.pe

Licenciado en Computación por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) y magíster en Ingeniería de Sistemas por la misma universidad. Se desempeña como docente en la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática y responsable del núcleo de Investigación e Innovación de Robótica e Internet de las Cosas en la misma casa de estudios. Es autor del libro *Sistemas Distribuidos I* (2011). Sus áreas de interés para la investigación son computación en la nube, *open hardware*, desarrollo de aplicaciones móviles Android y sistemas multiagentes. Tiene más de quince años de experiencia como desarrollador en tecnología Java.

JUAN JOSÉ MIRANDA DEL SOLAR

Correo electrónico: jjmirand@ulima.edu.pe

Fundador y director de Proyectos en Magia Comunicaciones S.A. Magia.Digital, con más de 22 años de experiencia proveyendo consultorías y soluciones de negocio usando tecnologías de la información, tecnologías de registro distribuido DLT/Blockchain, computación cognitiva, educación en línea así como otras tecnologías disruptivas. Jefe de Innovación en Magic Chain, la división de Magia.Digital enfocada a soluciones bajo tecnología DLT/Blockchain. Ha sido presidente de la Asociación Peruana de Software y Tecnologías Apesoft. Director de la Iniciativa Perú Blockchain como parte de Cluster de Desarrollo de Software Perú Digital. Profesor de Proyectos Digitales y Video Juegos en la Universidad de Lima.

LAURA E. BARNES

Correo electrónico: lb3dp@virginia.edu

Ph.D. y M.S. del Departamento de Ciencias de la Computación e Ingeniería de la Universidad del Sur de la Florida y bachiller en Ciencias de la Computación e Ingeniería por la Texas Tech University. Es profesora asistente en el Departamento de Ingeniería de Sistemas e Información de la Universidad de Virginia. Su investigación se centra en el área de sistemas distribuidos e inteligentes, específicamente en la conjunción de la tecnología de la información de salud, Machine Learning y la robótica. Está interesada en problemas como el modelamiento computacional del comportamiento, la integración de máquinas y sistemas en red con niveles mixtos de autonomía en entornos con seres humanos, y la creación de nuevas herramientas que ayudan en el manejo de la enfermedad y la educación del paciente, así como en la prestación de asistencia sanitaria. Asimismo, sus áreas de investigación comprenden la informática médica, la salud móvil, la interacción humano-computador, aprendizaje automático y robótica. Trabajó en el Laboratorio de Investigación del Ejército y antes de unirse a la Universidad de Virginia ocupó cargos como docente en la Facultad de Medicina de la Universidad del Sur de Florida y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Texas en Arlington.

LISSETTE TUCTO MECHAN

Correo electrónico: lisette.tucto@gmail.com

Ingeniera de sistemas por la Universidad de Lima; se ha especializado en procesos financieros con MBA en Gestión de Negocios por Manchester Business School. Desarrolló su carrera profesional en Lima en las áreas de servicios financieros, consumo masivo, telecomunicaciones y energía. Desde hace más de seis años brinda asesoría empresarial liderando transformaciones financieras e implantando optimización de procesos. Actualmente se desempeña como consultora sénior en KPMG UK, donde realiza un multidisciplinario enfoque que le permite llevar a cabo un extenso programa de transformación en un cliente líder del sector de seguros.

LEO WONG

Correo electrónico: 20141479@aloe.ulima.edu.pe

Bachiller en Ingeniería de Sistemas por la Universidad de Lima. Trabaja como practicante de ingeniería preventiva comercial en una empresa de ciberseguridad. Sus intereses de investigación incluyen algoritmos genéticos, algoritmos meméticos, sistemas de soporte a las decisiones, optimización combinatoria y seguridad de redes.

MANUELA LINARES BARBERO

Correo electrónico: malinare@ulima.edu.pe

Ingeniera de sistemas y magíster en administración de negocios (MBA) por la Universidad de Lima. Obtuvo una certificación en *e-commerce* con honores por la Universidad de Coventry. Es consultora de negocios y tecnología, con más de 21 años de experiencia laboral en el Perú y en Inglaterra. Ha laborado en el área de rediseño de procesos productivos, operativos, administrativos y académicos, y en la definición de propuestas de mejora para automatizar la operación de la empresa, así como la implementación de soluciones de negocio. Además, se ha desempeñado como responsable de brindar soporte funcional y operativo a empresas financieras, productivas y educativas, así como capacitación a usuarios finales en las soluciones de negocio. Es docente en la Universidad de Lima y candidata a doctora por la Universidad Pablo de Olavide.

MARCO A. FERNÁNDEZ DEL POMAR

Correo electrónico: marco9129@gmail.com

Ingeniero de sistemas por la Universidad de Lima, con posgrado del Programa Internacional de Desarrollo de Habilidades Gerenciales por el Tecnológico de Monterrey sede Perú, y cursa la “Maestría en Administración de Tecnologías de Información” en la misma institución. Tiene más de siete años de experiencia en el rubro de TI y gestión de proyectos. Apasionado de la gestión de personas, equipos de alto desempeño y el planeamiento estratégico del gobierno corporativo de TI, posee certificado como PMP, Agile Coach, Scrum Trainer, entre otras certificaciones relacionadas con la rama de gestión de proyectos. Se desempeña como *scrum master* en la Dirección de Transformación Digital de Alicorp, gestionando proyectos de gran envergadura con equipos multidisciplinarios.

MAURICIO MARROQUÍN

Correo electrónico: 19990535@aloe.ulima.edu.pe

Ingeniero de Sistemas por la Universidad de Lima, magíster en Dirección de Sistemas y Tecnologías de la Información por la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, cuenta con certificado en prácticas ágiles y gestión de servicios de TI. Tiene más de diez años de experiencia liderando equipos de desarrollo en proyectos de *e-commerce* nacionales e internacionales. Está dedicado a la mejora de los procesos de desarrollo de *software* y a la investigación en diversos campos, como ciencia de datos, inteligencia artificial y robótica. Labora como arquitecto de *software* en Avatar S.A.C.

MAX GUILLERMO SCHWARZ DÍAZ

Correo electrónico: mschwarz@ulima.edu.pe

Doctor en Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional de Ingeniería, de Lima; máster en Ingeniería Industrial con mención en Planeamiento y Gestión Empresarial por la Universidad Ricardo Palma, e ingeniero industrial por la Universidad de Lima. Miembro sénior del Institute of Industrial Engineers (IIE-USA) y miembro internacional de American Society of Safety Engineers (ASSE-USA); asesor, consultor y auditor de Sistemas ISO9001, ISO14001, OHSAS18001, ISO27001, ISO22000, EUREPGAP, SA8000 y AA1000; cuenta con más de 25 años de experiencia profesional gerencial en Perú, México, Argentina y Brasil, en los sectores minería, petróleo, pesca, servicios e industria química. Es docente, investigador y consultor en técnicas de inteligencia artificial, Blockchain, administración de operaciones, calidad, confiabilidad, ingeniería y gestión, e investigador calificado Regina del Concytec-Perú.

MICHAEL DORIN

Correo electrónico: mike.dorin@stthomas.edu

Titulado en Ciencias Matemático-Computacionales por la Universidad de Wisconsin y magíster en Ciencias por la Universidad Estatal Metropolitana, Minneapolis, Minnesota (Estados Unidos). Cuenta con treinta años de experiencia en diseño y desarrollo de *software* profesional, especializado en cifrado y seguridad de datos; cuenta con conocimientos de múltiples lenguajes de programación, como C, C++, C#, Java, Perl, PHP, Python, TTCN-3, Assembly, Visual Basic, Pascal y Fortran. Es docente en la Universidad St. Thomas en Minnesota y anteriormente lo fue en la Universidad Estatal Metropolitana. Se desempeñó como ingeniero sénior de diseño de *software* en Dell Inc., ingeniero sénior en investigación y desarrollo de *Software* en Garmin International, ingeniero sénior de *Software* en Honeywell y como ingeniero de *software* y presidente de EDI Enterprises Inc.

SERGIO MONTENEGRO

Correo electrónico: sergio.montenegro@uni-wuerzburg.de

Doctor en Ciencias por la Universidad Técnica de Berlín y magíster en Ciencias de la Computación por la Universidad del Valle de Guatemala. Entre el 2007 y el 2010 se desempeñó como jefe del Departamento de Investigación en Central Avionics. Es docente en tecnología de la información aeroespacial e investigador en la Universidad de Wurzburg (Alemania). Sus áreas de interés son: computación confiable, objetos voladores autónomos en interiores, sistemas operativos en tiempo real y *middleware*, y computación distribuida.

THIAGO JÉFFERY BARISÃO DE LIMA

Correo electrónico: thiagojeffery@id.uff.br

Doctor en Ingeniería de Producción y Sistemas de Computación (MESC) en la Universidad Federal Fluminense (UFF), donde se desempeña como analista de tecnología de la información. Sus intereses de investigación incluyen lenguajes de programación, sistemas web, investigación de operaciones, metaheurísticas, análisis de decisiones de criterios múltiples, estructuras de datos y algoritmos.

WALTER GIANCARLO PINEDO BARRIENTOS

Correo electrónico: walterpinedo.barrientos@gmail.com

Ingeniero de sistemas por la Universidad de Lima, estudia la Maestría en Ciencia de Datos en la Universidad de Ricardo Palma. Ha sido coordinador general del círculo de estudios de Inteligencia de Negocios, institución de la Universidad de Lima que incentiva la investigación en Business Intelligence & Analytics mediante *workshops* y *meetups*. Cuenta con estudios complementarios en Machine Learning y procesamiento del lenguaje natural, así como en ciencia de datos. Se desempeña como ingeniero de datos de Everis Perú, donde implementa soluciones de Big Data. Integra la comunidad Data Science Research Perú, equipo voluntario que apoya a estudiantes y profesionales en el campo de la ciencia de datos mediante conversatorios y talleres en cooperación con instituciones educativas y empresariales.

YESSENIA LUNAREJO GONZALES

Correo electrónico: yessenia.lunarejo@unmsm.edu.pe

Bachiller en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Cuenta certificación profesional avanzada en Automatización de Procesos Robóticos. Se desempeña como practicante en el área de consultoría de Ernst & Young. Sus áreas de interés para la investigación son la automatización, internet de las cosas (IoT) y *smart cities*.



UNIVERSIDAD
DE LIMA

HACIA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

ACTAS DEL I CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

Este libro recoge el conjunto de conferencias magistrales y ponencias presentadas durante el I Congreso Internacional de Ingeniería, denominado "Hacia la transformación digital", que tuvo lugar en la ciudad de Lima los días 13 y 14 de septiembre del 2018.

El CIIS brinda un espacio participativo, de alcance internacional, en el cual se abordan temas asociados con las tecnologías emergentes que permiten el intercambio de conocimientos, experiencias e investigaciones en las áreas de ingeniería de sistemas, ingeniería de *software*, tecnología y sistemas de información, entre otras. Los temas por tratar aportan al desarrollo y crecimiento de las áreas de especialización abordadas, en beneficio de nuestros investigadores, docentes, alumnos, así como de la comunidad científica y académica y del público interesado.

ISBN 978-9972-45-499-8



9 789972 454998