

Volume 5, Issue 2

Nov 2018

ISSN: 1390-9266

LAJC

LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
QUITO - ECUADOR

Editor in Chief:

PhD. Jenny Torres, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Invited Editor:

PhD. Edison Loza, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

<http://lajc.epn.edu.ec/>



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL



LATIN AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING LAJC

Vol V, Issue 2, November 2018

ISSN: 1390-9266

e-ISSN: 1390-9134

Published by:
Escuela Politécnica Nacional
Facultad de Ingeniería de Sistemas

Quito – Ecuador

LATIN AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING – LAJC

Published by:

Escuela Politécnica Nacional
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Ecuador

Editorial Committee:

Dra. Jenny Torres, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Dr. Alex Buitrago, Universidad Externado de Colombia, Colombia
Dr. Henry Roa, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador

Editor in Chief:

Dra. Jenny Torres, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Invited Editor:

Dr. Edison Loza, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Section Editors:

Ing. Alberto Castillo, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Ing. Hernán Ordoñez, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Mailing Address:

Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería de Sistemas
Ladrón de Guevara E11-253, La Floresta
Quito-Ecuador, Apartado Postal: 17-01-2759

Web Address:

<http://lajc.epn.edu.ec>

E-mail:

lajc@epn.edu.ec

Frecuency:

2 issues per year

Circulation:

350

EDITORIAL

Volumen, velocidad y variedad

Es difícil imaginar organizaciones que actualmente se puedan permitir el lujo de ignorar la importancia de un funcionamiento armonioso entre las personas, los procesos, los datos, el software y el hardware que permiten adquirir, almacenar, procesar y difundir información. La toma de decisiones informadas es uno de los elementos que marca la diferencia entre las organizaciones exitosas y aquellas que pasan la mayor parte del día tratando de reaccionar a los envites externos e internos propios de sus actividades económicas.

Los Sistemas de Información se enfocan en los problemas organizacionales a los cuales la informática puede aportar soluciones. En ese sentido, la disciplina se ha concentrado en el desarrollo de métodos de software y la aplicación de tecnología para resolver problemas en su contexto. El campo por tanto es basto. Hoy en día, un especialista de Sistemas de Información debe poseer no solo conocimientos técnicos sino también un claro entendimiento de cómo las organizaciones trabajan.

Es así como uno de los grandes desafíos en Sistemas de Información involucra cómo transformar la inmensa marea de datos que se genera actualmente en información que sea útil, veraz y oportuna. Datos que no cesan de crecer exponencialmente y que esconden tesoros para aquellos que puedan extraerlos. No en vano los datos han sido llamados el petróleo del siglo XXI. Lo que a llevado a que en los últimos años se hayan acelerado los avances en las técnicas y los métodos que permiten recolectar, almacenar y procesar estos datos caracterizados por un volumen inmenso, una velocidad de generación alta y/o una variedad de formatos que suponen nuevos desafíos para las organizaciones.

A pesar de los avances hechos en la disciplina, queda aún mucho trabajo por hacer en el desafiante mundo del Big Data y los Sistemas de Información. Estos avances son los que constituyeron el eje central de las IX Jornadas en Sistemas Informáticos y de Computación (JISIC) organizadas por la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional. En este número, tenemos el agrado de presentar las contribuciones presentadas a lo largo de estas jornadas conjuntamente con los artículos regulares de nuestra revista.

Como parte de las contribuciones regulares, desde Venezuela, Angel Gil, Jose Aguilar, Eladio Dapena y Rafael Rivas nos presentan su artículo titulado: “Verificación de la emergencia en una arquitectura para sistemas multi-robots”. En su contribución, los autores analizan el comportamiento emergente de un sistema multi-robot gestionado por una arquitectura estructurada en tres capas. Adicionalmente, se definen métricas para verificar la emergencia en el sistema, mediante la utilización de un método de verificación basado en Mapas Cognitivos Difusos.

Desde Brasil, el artículo “Agile Design Process and User Experience in Web Interfaces: A Systematic Review” de Jucelia Beux, Ericles Bellei, Lais Brock, Ana Carolina De Marchi y Carlos Amaral Hölbis; abordan la problemática de combinar la experiencia de usuarios en los métodos de desarrollo de software ágiles para el desarrollo de interfaces gráficas en aplicaciones web.

Desde España e inaugurando la sección de Ciencia, Tecnología y Sociedad, Ramón Rueda López presenta su estudio sobre: “Hacia un nuevo paradigma en la investigación científica universitaria desde una epistemología feminista, un espíritu creativo, crítico y ético, y el conocimiento como bien común”. El autor realiza una revisión bibliográfica sobre las principales aportaciones en el ámbito del pensamiento y las epistemologías críticas.

En lo que concierne a las contribuciones de las IX JISIC, el comité organizador recomendó cinco artículos para su publicación en el presente número. Entre los artículos recomendados, Gabriela

Poveda, María Trujillo y Andrés Rosales presenta su artículo su “Rehabilitación Muscular Asistida”. En su artículo, los autores tratan de brindar una solución de una interfaz de bio-realimentación de bajo costo y amigable con el usuario. Su herramienta brinda información de las señales musculares generadas por el cuerpo humano para evitar la subjetividad que puede existir en el método tradicional, logrando obtener mejores resultados en menor tiempo gracias al monitoreo continuo y generación de historiales.

Por su parte, Roger Castro y Marco Luna, presentan su artículo titulado: “Análisis exploratorio de datos geográficos voluntarios: estudio de caso en la administración zonal Manuela Sáenz de Quito”. Este artículo propone un Análisis Exploratorio de Datos como primer acercamiento a conocer las características de OpenStreetMap. Los autores utilizaron herramientas de software libre SIG y métodos no-gráficos y gráficos para analizar una zona del distrito metropolitano de Quito.

Boris Herrera Flores presenta su contribución: “Polaridad de las opiniones sobre un personaje público en el Ecuador”. Siguiendo una aproximación de minería de opiniones, el autor usa datos que fueron obtenidos de redes sociales, y procesados con técnicas de lenguaje natural para obtener indicios de popularidad a su gestión en forma positiva, negativa o neutra.

María Cristina Jiménez e Ivan Carrera, en su artículo: “Defining architectures for recommended systems for medical treatment. A Systematic Literature Review”, presentan un estudio para determinar los elementos principales que permitan obtener recomendaciones flexibles, precisas y comprensibles de sistemas recomendadores para tratamiento médico.

Finalmente, Carlos Angamarca y Vicente Ogoño contribuyen con el estudio: “Design and simulation of prototype to get a soccer player’s heart rate using a wireless network”. En su trabajo, los autores comparan difentes técnicas de simulación para obtener información vital de un jugador de futbol mediante una red inalámbrica de área corpotal.

Además de la invaluable colaboración de nuestro equipo de revisores, deseamos agradecer en este número el aporte de Marco Molina, Fredy Gavilanes y Daniel Maldonado, miembros del comité científico de las JISIC. Esperamos que las contribuciones enmarcadas en el presente número satisfagan las experiencias de nuestros lectores y sus contribuciones permitan adelantar el conocimiento en las distintas áreas de la computación.

Volume, velocity, and variety

Nowadays, it is hard to imagine organizations that can ignore the importance of a harmonious operation between people, processes, data, software and hardware that allow to acquire, store, process and disseminate information. Informed decision-making is one of the elements that makes the difference between successful organizations and those that spend most of the day trying to react to external and internal challenges.

Information Systems focus on organizational issues to which information technology can provide solutions. In that sense, the discipline is oriented through the development of software methods and the application of technology to solve problems in their context. The field is therefore broad. Today, an Information Systems specialist must possess not only technical knowledge but also a clear understanding of how organizations work.

One of the great challenges in Information Systems today involves how to transform the immense tide of generated data into useful, truthful and timely information. A tide of data that does not stop growing exponentially and that hide treasures for those who can extract them.

Not in vain, data have been called the oil of the 21st century. This has led to the acceleration of advances in techniques and methods that allow collecting, storing and processing these data. Data that is also characterized by an immense volume, a high generation speed and/or a variety of formats that suppose new challenges for organizations.

Despite the advances made in the field, there is still much work to be done in the challenging world of Big Data and Information Systems. These advances were the central topic of the IX Jornadas de Sistemas Informáticos y de Computación (JISIC) organized by the Facultad de Ingeniería de Sistemas of the Escuela Politécnica Nacional. In this issue, we are pleased to present the contributions presented throughout this conference together with the regular articles of our journal.

As part of the regular contributions, from Venezuela, Angel Gil, Jose Aguilar, Eladio Dapena and Rafael Rivas present their article entitled: "Verification of the emergency in an architecture for multi-robot systems". The authors analyze the emerging behavior of a multi-robot system managed by an architecture structured in three layers. Additionally, several metrics are defined to verify the emergency in the system, through the use of a verification method based on Fuzzy Cognitive Maps.

From Brazil, the article "Agile Design Process and User Experience in Web Interfaces: A Systematic Review" by Jucelia Beux, Ericles Bellei, Lais Brock, Ana Carolina De Marchi and Carlos Amaral Hölbig; address the problem of combining user experience in agile software development methods for graphical interfaces in web applications.

From Spain and inaugurating the new Science, Technology and Society section of this journal, Ramón Rueda López presents his study on: "Towards a new paradigm in university scientific research from a feminist epistemology, a creative, critical and ethical spirit, and knowledge as a common good". The author carries out a literature review on the main contributions in the field of thought and critical epistemologies.

Regarding the contributions of the IX JISIC, the scientific committee recommended five articles for publication in this issue. Among the recommended articles, Gabriela Poveda, María Trujillo and Andrés Rosales present their article on "Assisted Muscular Rehabilitation". In their work, the authors present a low-cost, user-friendly bio-feedback interface. Its tool provides information on muscle signals generated by the human body to avoid the subjectivity that may exist in traditional diagnosis methods. They report achieving better results in less time thanks to continuous monitoring and generation of records.

Roger Castro and Marco Luna present their article entitled: "Exploratory Data Analysis of Volunteered Geographic Information: case study in the Manuela Sáenz administrative zone of Quito." This article proposes an exploratory data analysis as the first approach to understand the characteristics of OpenStreetMap. The authors used free software GIS tools and non-graphic and graphical methods to analyze an area of the metropolitan district of Quito.

Boris Herrera Flores presents his contribution: "Polarity of opinions about a public person in Ecuador". Following an approach of opinion mining, the author uses data obtained from social networks, and processed with natural language techniques to obtain positive, negative or neutral indications of popularity concerning the management performed by a public politician.

María Cristina Jiménez and Ivan Carrera, in their article: "Defining architectures for recommended systems for medical treatment. A Systematic Literature Review", the authors present a study to determine the main elements that allow to obtain flexible, precise and comprehensible recommendations of recommender systems for medical treatments.

Finally, Carlos Angamarca and Vicente Ogoño contribute with the study: “Design and simulation of prototype to get a soccer player’s heart rate using a wireless network”. In their work, the authors compare different simulation techniques to obtain vital information of a soccer player through a wireless body area network.

In addition to the invaluable collaboration of our team of reviewers, in this issue, we would like to thank the contribution of Marco Molina, Fredy Gavilanes and Daniel Maldonado, members of the scientific committee of the JISIC. We hope that the contributions published in this issue will satisfy the expectancy of our readers.

Edison LOZA-AGUIRRE
Escuela Politécnica Nacional
General chair of JISIC 2018
Editorial Board

Latin American Journal of Computing – LAJC

Reviewers

We are most grateful to the following individuals for their time and commitment to review manuscripts for Latin American Journal of Computing – LAJC.

Aguiar Pontes Josafá, PhD. Tokyo Institute of Technology, Japan
Aguilar José, PhD. Universidad de los Andes, Venezuela
Anchundia Carlos, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Andrade Roberto, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Barriga Jhonattan, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Benalcázar Marco, PhD. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Brandão Diego, PhD. Universidade Federal Fluminense, Brasil
Buitrago Alex, PhD. Universidad Externado de Colombia, Colombia
Calle Tania, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Carrera Iván, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Carrión Gordón Lucía, MSc. University of Technology Sidney, Australia
Duarte Ferreira Vera Lúcia, PhD. Universidade Federal do Pampa, Brasil
Flores Pamela, PhD. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Flores Denys, MSc. University of Warwick, England
Fuertes Díaz Walter, PhD. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Ecuador
García Olaya Angel, PhD. Universidad Carlos III de Madrid, España
Hallo María, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Hernández Myriam, PhD. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Herrera Juan, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Intriago Monserrate, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Loza Aguirre Edison, PhD. Université de Grenoble, France
Lucio José Francisco, PhD. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Luján Mora Sergio, PhD. Universidad de Alicante, España
Magreñán Ángel Alberto, PhD. Universidad Internacional La Rioja, España
Meliá Beigbeder Santiago, PhD. Universidad de Alicante, España
Navarrete Rosa, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Paz Arias Henry, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Pousa Federico, PhD. Universidad de Buenos Aires, Argentina
Qazi Farrukh, University of Warwick, England
Ramíó Jorge, PhD. Universidad Politécnica de Madrid, España
Riofrío Diego, MSc. Universidad Politécnica de Madrid, España
Roa Marin Henry, MSc. The University of Queensland, Australia
Sánchez Gordón Sandra, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Suntaxi Gabriela, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Torres Olmedo Jenny, PhD. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Torres Olmedo Jeaneth, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Yacchirema Diana, MSc. Universitat Politècnica de València, España
Zambrano Patricio, MSc. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

TABLE OF CONTENTS

Design and simulation of prototype to get a soccer player's heart rate using a wireless network Vicente Arcenio Ogoño Granda and Carlos Andrei Angamarca Angamarca	11-14
Rehabilitación Muscular Asistida / Assisted Muscular Rehabilitation Gabriela Poveda, María Trujillo y Andrés Rosales	15-20
Análisis Exploratorio de Datos Geográficos Voluntarios: estudio de caso en la administración zonal Manuela Sáenz de Quito / Exploratory Data Analysis of Volunteered Geographic Information: case study in the Manuela Sáenz administrative zone of Quito A R. Castro y M. Luna.....	21-26
Polaridad de las opiniones sobre un personaje público en el Ecuador / Polarity of opinions about a public person in Ecuador Boris Herrera Flores.....	27-32
Defining architectures for recommended systems for medical treatment. A Systematic Literature Review Cristina Jimenez and Ivan Carrera	33-40
Verificación de la emergencia en una arquitectura para sistemas multi-robots (AMEB) / Verificación de la emergencia en una arquitectura para sistemas multi-robots (AMEB) A. Gil, J. Aguilar, E. Dapena, R. Rivas	41-52
Agile Design Process with User-Centered Design and User Experience in Web Interfaces: A Systematic Literature Review Jucélia Giacomelli Beux, Ericles Andrei Bellei, Laís Andressa Brock, Ana Carolina Bertolotti De Marchi, Carlos Amaral Hölbíg.....	53-60
Hacia un nuevo paradigma en la investigación científica universitaria desde una epistemología feminista, un espíritu creativo, crítico y ético, y el conocimiento como bien común / Towards a new paradigm in university scientific research from a feminist epistemology, a creative, critical and ethical spirit, and knowledge as a common good Rueda López, Ramón.....	61-68

Design and simulation of prototype to get a soccer player's heart rate using a wireless network

Vicente Arcenio Ogoño Granda , Carlos Andrei Angamarca Angamarca

Abstract— The goal of this project is the implementation of a simulation that gets the vital information of a soccer player's body through Wireless Body Area Network (WBAN). With this objective in mind, several programming language environments are compared with each other. This simulation only has one sample to follow according to the proposal. Therefore, the challenge is to create a new simulation sample and other platforms to compare the accuracy and delay between communications. WBANs are not conceived to carry large amounts of data, according to the WSN (wireless sensor network) concept. This entails a problem when designing applications for this kind of networks. Lastly, in respects to the results that will be presented. The results will be about which one simulation is better or what differences lay between the different environments of development.

Keywords— WBAN, Wireless Sensor Network, Zigbee

I. INTRODUCTION

With the development of science and technology, TICs has penetrated into all aspects of human life. One of this fields is the entertainment field which includes contact sports. This research will focus on soccer, which is one of the most popular sports, however it can be applied in any sports. The health care of players from any sport becomes very important for any personal and team's performance. The decision for this goal was made to help health and medical care in the main point to focus in the collection data aspect. This research is going to show the method to get information. For example, there is a device that can get continuously "sense heart rate" (HR).

In summary, the focus of this research is on how to enhance network topology on this area, communication among different technologies and a prototype that reaches all the expectations.

Hence, the proposal:

- Realize an enhance in the research of collecting data delays.
- Platform Comparison.
- Reduce the costs of acquisitions and implementation.
- Support the researches using simulators.
- Construct the interface design, data base and the communication with simulators.

Article history:

Received 04 September 2018

Accepted 24 September 2018

Authors are affiliated to South China University and Technology and Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil, respectively.

This research is going to show the method to get information. For example, there is a device that can get continuously "sense heart rate (HR), energy expenditure (EE) and body temperature (BT) and periodically broadcast the data to data collection nodes in the 920 MHz and 2.4 GHz bands at the same time, Performance evaluation of packet forwarding methods in real-time vital data collection for players during a football game [1, p. 2].

Several years ago, some researches, such as [2], head already started with a big step, in which the target was the network topology and in the mobility model of the soccer players. Currently these studies have opened the business idea in many companies.

Nowadays, we found it commercially available devices "GPSports in 2006 [3]." and "VX Sport in 2008 [4], [5]. that is considers the best one, due your shape and size. All of them are projects that already done to validate this research.

In the case of this research, the decision was made to use sensors to monitor the heart rate (HR) for the collection data part, because currently we often see many athletes die around the world. The leading cause is cardiac arrest [6]. The lack of acquisition and implementations is due to high costs. Attracting both investors and software developers with another method of doing it, is relevant to this field of work. Here are some reasons:

1) Allow to make medical decisions, because of the BAN concept [7]. In contrast with the BAN concepts, the WBAN appear years ago as a solution for many problems that the BAN had [8].

2) Influence the decision making before, during, or after the match. Many concepts such as: [9], are part of the improvement in this technology that allows a coach to take quick decisions in the moment's notice. Another example of this is [10] and [11] mobility model for Body Area Networks of soccer players.

3) Enhance the weak research about the comparison among different platforms.

There is a lot of information about this technology, but not in-depth or any that can useful. Considering the initial results from the first samples to make a comparison with other platforms. Usually, the researchers before starting a research in a field, starts by choosing three platforms tools taking into consideration their skills. Hence, a weakness is given in one's background. Probably several samples were already tested in different platforms, however the results are unknown. The quick advancement in this technology can be the first applied responsibility towards the well-being of the player. This research can be an opportunity to address that important issue. In future, the researchers can have an idea about the specific point such as healthcare when they want to initiate a research in this field and take a preliminary decision.

II. METODOLOGY

The prototype is presented in Figure 1. Called life cycle of an IS (Information Systems) development. More specifically is the prototyping model that essentially entails four different stages. In summary, this provides the model with much higher probabilities of success, as well as lower risks. Figure 2 shows this model.

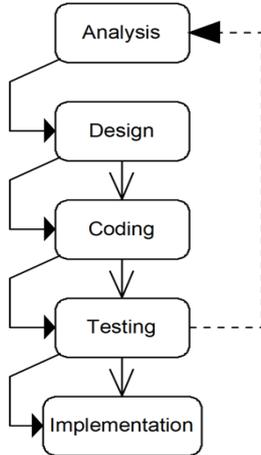


Fig. 1. Life cycle of an IS

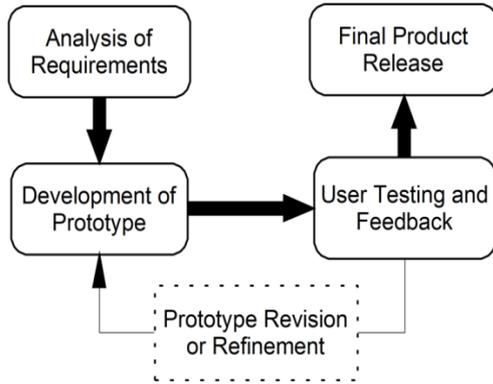


Fig. 2. Prototype model

The instruments the system use are UML plugin, NetBeans IDE 8.2, MATLAB Simulink R2017b, VIRTUAL BOX, UBUNTU 2016, BONNMOTION, OPNET and SYSTEMS COMMUNICATION TOOLBOX.

III. PROCEDURE

Below we present the three platforms that are the subject of study in this proposal.

A. OPNET Simulator

The first one is focused on group-based topologies and mobility models, while the second part is focused on the research on biosensor systems for athletes or for any sportsman or sportswoman. In this last case, athletes, sportsmen or sportswomen become ad hoc network nodes that need to transmit and relay information from their sensors or from other players to sinks nodes.

The area inside a partial circle bounded by a radius r and an arc α is provided by equation 1. Where d is the circle

radius and α is the angle (in degrees). Figure 1-3 shows the partial circle area covered by a football player.

$$Area = \frac{1}{2}d^2 \cdot \left(\pi \cdot \frac{\alpha}{180} - \sin \alpha \right) \quad (1)$$

The Zone Model is the area that each player will move on the site within the location-dependent area. A two-dimension probability density function (PDF) position associated exists. We will call this function "the locator". Given a couple of coordinates x and y , a position locator returns the probability of finding the player associated to the position at that point. Equation 2 shows the PDF function.

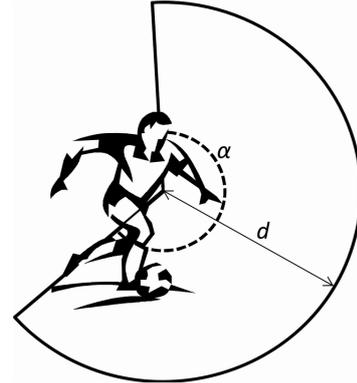


Fig. 3. Partial Circle area

$$P[a \leq X \leq b, c \leq Y \leq d] = \int_a^b \int_c^d f_{X,Y}(x, y) dx dy \quad (2)$$

The group mobility model is based on the Pursue Mobility Model. This model represents that the players track the goal: the ball. The target can have its own individual mobility model. In order to update location for each player, the model has a formula, which is shown in equation 3.

$$p_l = p_{ol} + acceleration(b_l - b_{ol}) + random_vector \quad (3)$$

A summary is made that currently this simulator is totally different, and your license is private.

B. JAVA Animation

The first step about Java is to create a model of the class, which will be needed. When Java is work loading a project, these depend on what library the target needs. In this animation, in order to show plots, we have to add libraries that are fit to do that. For example: staxmate-with-stax2, substance.jar, wstx-lgpl-3.2.6.jar, jcommon-1.0.8.jar, jfreechart-1.0.4-demo.jar, jfreechart-1.0.5.jar and jfreechart-1.0.7.jar.

C. MATLAB Simulation

WBANs networks can be developed by using MATLAB. The simulation simulated 11 players, with each player having four sensors that form a personal WBAN, moving around a soccer pitch according to a PURSUE mobility model. The PURSUE mobility model simulates a scenario where several nodes try to catch a node. In the model, one node that movies randomly on the pitch, whilst in all other models it moves randomly towards the desired nodes.

IV. ANALYSIS

The process in these technologies is to follow each stage, where all information is flowing until reaching its final intended destination. When the collection of information in beginning of project satisfies the criteria for the analysis stage, then it's possible to continue and design the wireless protocols. With the coding the development of every WBANS and his respective communication of devices such as Base stations and the sink, the challenge is later the implements and the search of the movement of model. The testing is last stage according with the prototypes, however the implementation is part of the analysis and conclusions. Such as OPNET, MATLAB and JAVA. As generalization this method reach all requirements in these kinds of simulations/animations projects. Otherwise the cost of devices, time of delivery in live and also the short duration to finish this proposal is not enough to reach the aims.

V. RESULTS

Given all results in the plot graphs, a general analysis is introduced according the research. First, every technology has their own tools, and these are completely different. For this reason, every platform has their own scenario and plots results about the delay and distance covered. The prototype network used in this research were the same, Zigbee, therefore both technologies are convenient to do in simulations. The results are product of the same movement model called pursue model. Except for JAVA technology where I will give the analysis itself, because is an animation.

A. OPNET

In this simulation, nodes communicate by using Zigbee in the 915 MHz frequency band. The traffic injected into the WSN follows an exponential distribution with an average packet size of 1024 bit and an inter-arrival time of 10 seconds. The use of an average of 10 seconds is appropriate because there is no need of monitoring these events with higher accuracy.

B. JAVA

Which follow a random forwarding of data, where the red line represents a delay performance and the blue line the Resource consumption, over the axis horizontal for a single machine in megahertz scale and the axis vertical the classification in milliseconds:

In the Figure 4 about Forwarding-based Schemes results, we have the same axis as the Figure 5.

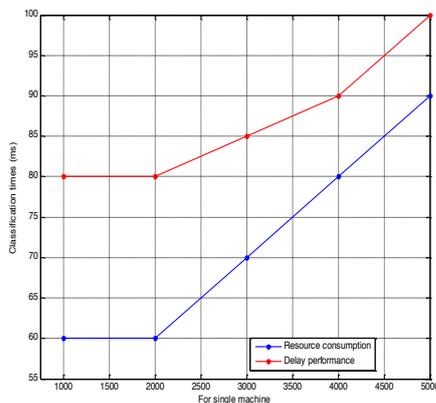


Fig. 4. Random forwarding

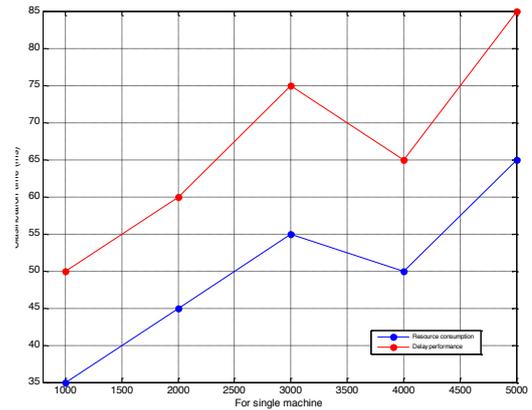


Fig. 5. Forwarding-based Schemes

C. MATLAB

The simulation was formulated to be realistic for a distance unit of meter and over a total simulated time of half an hour (one-time interval is about 3 mins).

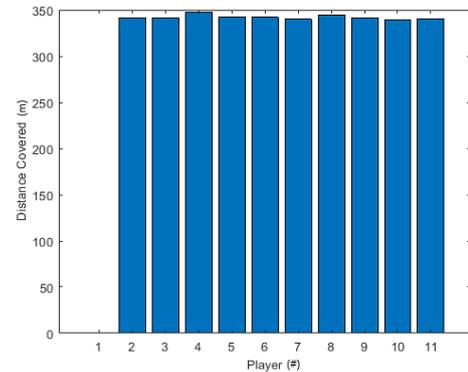


Fig. 6. Distance covered

MATLAB give this result, we have the distance travelled as we see in Figure 6, where almost all the football players in a simulation made in half an hour have about 340 to 350 meters travelled. Except for the goalkeeper who has no movement and is also our sinkhole in this protocol model. Therefore, the motion model works well, and the data generated on each node is clear to take the BMP data. It is appropriate to say that this distance is not very wide, with the certainty that the BPM will be normal, which we'll see later in the analysis of these results.

In the Figure 7, the result which one is the Delay Error Graph, which every WBAN or soccer player show his delay. In the horizontal axis is the player numbers and the vertical axis the Delay in milliseconds. The delay is between the sink node and every WBAN.

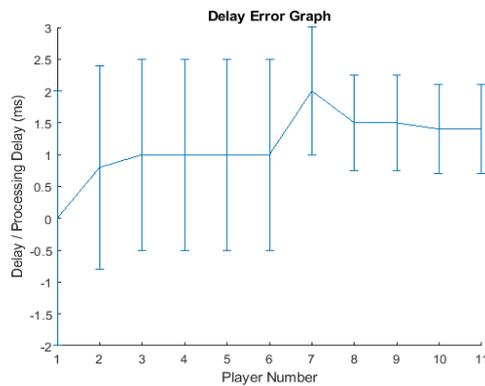


Fig. 7. Delay Error Graph

At end the last result plotted is about BMP in every player means every WBAN.

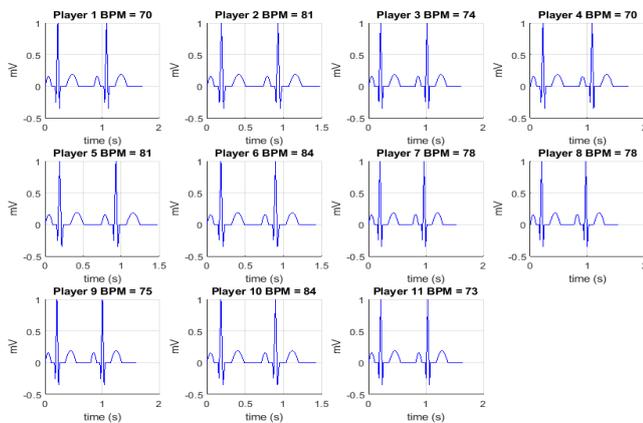


Fig. 8. Beats per minute in every soccer player

In the Figure 8 the application simulates the heart-rate as being a baseline value of 70 plus an additional random number which is in proportion to the speed at which each player is going. Modelling heart rate in this manner allows the application to model heart rate in a very realistic way. The BPM is then mapped to an ECG curve by using a popular ECG reconstruction model.

VI. CONCLUSION

The delays in data collection in the simulation of MATLAB are about 2 milliseconds, in OPNET this can reach up to 4 seconds but throughout the system. Both use the same protocol "Zigbee" although different types of network, therefore, according to the research it was possible to introduce a new technology to improve or migrate.

In this research, three types of platforms were managed. One of which was already ready, and the other platforms have also been completed. Although JAVA is not a convenient platform in the simulation of communications.

The research allowed an animation to be coded that mimics real life. Which means that the animation is like a real scenario where this can be implemented with the suitable equipment. MATLAB along with its toolbox called Communication Systems was a successful simulation, achieved results with high reliability, therefore, it is correct

to say that developers already have two more platforms to do this type of projects.

In fact, the results show that the doors were previously opened to make new projects Time where the costs of acquisition and implementation are reduced. So, this research becomes the opportunity to start projects in wireless communication.

REFERENCES

- [1] S. Hara, K. Tezuka, T. Tsujioka, H. Nakamura, T. Kawabata, K. Watanabe, M. Ise, N. Arime and H. Okuhata, "Performance evaluation of packet forwarding methods in real-time vital data collection for players during a football game," *2014 8th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)*, pp. 1-5, 2014.
- [2] M. Garcia, A. Catalá, J. Lloret and J. J. P. C. Rodrigues, "A wireless sensor network for soccer team monitoring," in *2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS)*, Barcelona, Spain, 2011.
- [3] GPSports, "GPSports," 2006. [Online]. Available: <http://gpsports.com>.
- [4] VX Sport, "VX Sport," 2008. [Online]. Available: <http://www.vxsport.com/>.
- [5] Frontier Smart Technologies Group, "Frontier Smart Technologies," 2001. [Online]. Available: <http://www.frontiersmart.com/>.
- [6] G. Morley, "CNN," 19 03 2012. [Online]. Available: <http://edition.cnn.com/2012/03/19/sport/health-muamba-heart-problems/index.html>.
- [7] J. Xing and Y. Zhu, "A Survey on Body Area Network," in *2009 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Beijing, 2009.
- [8] A. Rente, F. J. Velez, L. R. Salvado, L. M. Borges, A. S. Lebres, J. M. Oliveira, P. Araujo and J. Ferro, "Overview of progress in Smart-Clothing project for health monitoring and sport applications," in *2008 First International Symposium on Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies*, Aalborg, 2008.
- [9] A. Dhamdhare, H. Chen, A. Kurusingal, V. Sivaraman and A. Burdett, "Experiments with wireless sensor networks for real-time athlete monitoring," in *IEEE Local Computer Network Conference*, Denver, 2010.
- [10] L. De Nardis, D. Domenicali and M. G. Di Benedetto, "Mobility model for Body Area Networks of soccer players," in *The 3rd European Wireless Technology Conference*, Paris, 2010.
- [11] V. Sivaraman, S. Grover, A. Kurusingal, A. Dhamdhare and A. Burdett, "Experimental study of mobility in the soccer field with application to real-time athlete monitoring," in *2010 IEEE 6th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, Niagara Falls, 2010.

Rehabilitación Muscular Asistida

Assisted Muscular Rehabilitation

Gabriela Poveda, María Trujillo y Andrés Rosales

Resumen—En el mercado existen herramientas de bio-realimentación muy sofisticadas como las desarrolladas por meyerPT [1] o Biometric Ltd. [2], que brindan información al paciente a través de tonos, generan históricos e indican datos en tiempo real, sin embargo, su alto costo dificulta el acceso a las mismas lo que hace recurrir a la experticia del profesional y a una valoración cualitativa. Es así, como este trabajo se enfocó en desarrollar una interfaz de bio-realimentación amigable con el usuario, desarrollada en MATLAB, que brinde información de las señales musculares generadas por el cuerpo humano para evitar la subjetividad que puede existir en el método tradicional, logrando obtener mejores resultados en menor tiempo gracias al monitoreo continuo y generación de historiales. La interfaz presenta indicadores visuales, que son los encargados de realimentar al paciente, con el propósito de mostrar la ejecución de los ejercicios a una intensidad de fuerza adecuada, además permite el análisis de la fatiga muscular durante el entrenamiento y la creación de históricos para identificar la evolución del músculo según el desarrollo de las sesiones de terapia.

Palabras Clave— bio-realimentación muscular, electromiografía, fatiga muscular, fuerza muscular, MVIC, Myoware Muscle Sensor, sEMG.

Abstract—In the market, there are very sophisticated biofeedback tools, such as those developed by meyerPT [1] or Biometric Ltd. [2], which provide information to the patient through tones and allows the generation of records and show data in real time. However, the cost of these tools makes difficult the access to them. This problem is what make the patients apply to the expertise of a specialist and a qualitative valuation. For this reason, this project focused on developing a friendly user biofeedback interface created in MATLAB, which brings valuable information about muscular signals generated by the human body to avoid the subjectivity that may exist in the traditional method, reaching better results in less time thanks to the continue monitoring and data recorders. The interface shows visual indicators, which are used to feedback the patient, in order to present the execution of the muscular exercises at a certain force intensity, analyses the muscular fatigue during the training and create a data record to identify the evolution of the muscle according to the developing of the therapy sessions.

Index Terms— muscular biofeedback, electromyography, muscular fatigue, muscular force, MVIC, Myoware Muscle Sensor, sEMG.

Article history:

Received 07 September 2018

Accepted 24 September 2018

Los autores pertenecen al Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara, E11-253, Quito, Ecuador. (e-mail: {maria.poveda, maria.trujillo01, andres.rosales}@epn.edu.ec)

I. INTRODUCCIÓN

LOS músculos permiten generar fuerza, movimiento y trabajo. En particular, los músculos esqueléticos estriados son los que facultan al cuerpo para realizar movimientos rápidos y voluntarios, es decir, son actividades controladas bajo nuestro deseo [3], por lo que mantenerlos en buen estado es importante para desarrollar con normalidad las actividades cotidianas.

El 30% de los casos de atención en centros de fisioterapia, corresponden a problemas musculares [4] y se presenta la dificultad de acceder a herramientas que brinden un conocimiento adecuado del músculo durante la ejecución de la terapia física y su progreso, razón por la cual los pacientes son propensos a sufrir lesiones causadas por sobre esfuerzos o largos periodos de rehabilitación al no conseguir su objetivo de mejora. Es así, como varias herramientas integrales de asistencia constituidas por hardware y software han sido desarrolladas con la finalidad de atacar la problemática antes planteada, existen trabajos y características propias [5] que se basa en crear una realidad virtual para alcanzar posturas deseadas, y [6] se enfoca en ayudar a pacientes con parálisis cerebral, a desarrollar tareas musculares con sus extremidades a partir de la información generada por el cuerpo humano, mientras que el presente trabajo se enfoca en analizar el comportamiento del músculo para desarrollar cierto nivel de fuerza, indicando característica propias del músculo.

Partiendo de las señales musculares generadas durante una actividad física como fuente de información para una bio-realimentación que ayude a la correcta ejecución de ejercicios de rehabilitación, se genera una herramienta con apoyo visual que trata de disminuir costos y ser accesible para su implementación. Actualmente esta tarea se la encarga a la experticia del especialista, quien según su nivel de práctica ayudará a los pacientes a realizar el ejercicio de la manera adecuada. Por otro lado, en los centros de enseñanza, los estudiantes no pueden analizar las señales musculares que son emitidas por el cuerpo humano al realizar diversos tipos de movimientos, dificultando el aprendizaje sobre el comportamiento de los músculos y la adecuada ejecución de los movimientos a realizar para la rehabilitación.

Con estas consideraciones, las ventajas que presenta un sistema bio-realimentado se centran en ayudar a los pacientes a evitar esfuerzos innecesarios debido a los análisis de fatiga que se pueden realizar a través del software, permitir el entrenamiento o rehabilitación sin la necesidad que el especialista se encuentre acompañando en todo momento al

paciente, sin embargo, la presencia del médico siempre será necesaria ya que él indicará el tipo de rutina a seguir y especificará el peso permitido por cada sujeto para desarrollar los ejercicios, con el fin de evitar lesiones en los músculos bajo entrenamiento. Además, gracias a la presencia de señales visuales el usuario puede realizar los ejercicios de forma eficaz, obteniendo mejores resultados en menor tiempo.

Este documento presenta las diferentes consideraciones que se tomaron en cuenta para llevar a cabo el software de bio-realimentación para la rehabilitación de los grupos musculares bíceps y tríceps braquial, presentando en la sección II: Metodología, el desarrollo del software a partir de la adquisición de las señales musculares, en la sección III: Pruebas y Resultados se recopila las pruebas realizadas con el software dentro de un centro de rehabilitación y el grado de satisfacción del software, y finalmente en la sección IV: Conclusiones, se presenta las consideraciones más importantes a tomar para este desarrollo.

II. METODOLOGÍA

Para la consecución del software de bio-realimentación, se desarrolló una interfaz gráfica en Matlab que se conecta vía bluetooth con los sensores empleados para la adquisición de la señal desde el músculo. El esquema del sistema se visualiza en la Fig. 1, el cual está compuesto por: (1) adquisición de la señal, (2) interpretación de la señal, y (3) visualización de la interfaz [7].

La señal muscular, obtenida a través de un electromiograma (EMG) es generada por el cerebro al momento en que éste envía un impulso nervioso a las unidades motoras (última neurona que se une al músculo), provocando la inervación de las fibras musculares. [8]. Las variaciones fisiológicas en el estado de la membrana de la fibra muscular son detectadas, procesadas y analizadas con electromiografía [9]. En este proyecto se empleó la electromiografía superficial que mide los potenciales de varias unidades motoras para evaluar el desempeño promedio de un grupo muscular [10].

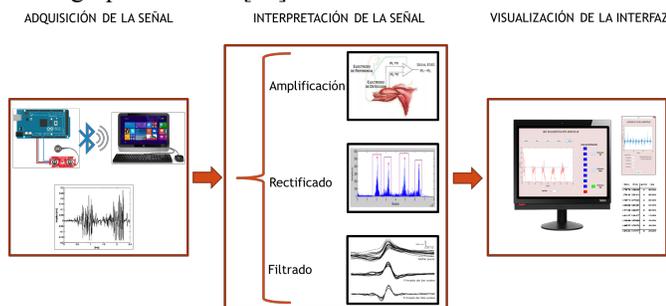


Fig. 1. Esquema del sistema

Para adquirir la señal se empleó la placa Myoware Muscle Sensor, la misma que mide, filtra, rectifica y amplifica las señales musculares [11]. La placa requiere el uso de electrodos superficiales para lo cual es necesario limpiar la piel, con el fin de disminuir la impedancia de esta [12]. Para visualizar la señal en el computador se ha empleado el convertidor A/D de la tarjeta embebida Arduino UNO [13], previo su tratamiento, que consiste en amplificar, rectificar y filtrar la señal [14], [15],

[16], [17].

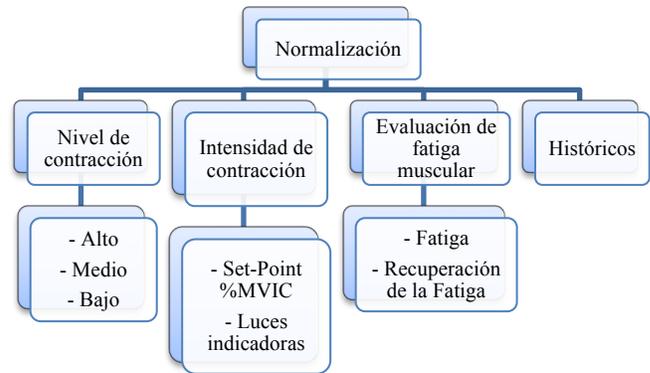


Fig. 2. Proceso de la interfaz gráfica

El esquema para desarrollar esta herramienta conformada por una interfaz con diferentes ventanas es el que se muestra en la Fig. 2.

Una vez realizado el tratamiento de la señal, es posible realizar la interpretación de la señal muscular, es decir, se presenta información de fácil comprensión a través de la interfaz. Para llevar a cabo el sistema, se ha desarrollado un software que presente diferentes pantallas que permitan: (1) crear una base de datos para registrar históricos, (2) normalizar la amplitud de la señal muscular, (3) ejecutar ejercicios de fuerza muscular, y (4) analizar la fatiga muscular. Se ha buscado que cada una de las pantallas diseñadas sea de fácil manejo con el fin de que el usuario final no tenga problemas con su uso.

A. Generación de Históricos

La pantalla de inicio, mostrada en la Fig.3, permite crear o cargar un archivo en Excel, el cual guardará los datos de entrenamiento de los pacientes con el fin de crear históricos que permitan evidenciar la evolución del músculo en el transcurso de la terapia. Si se trata de la primera vez que el usuario va a empezar a entrenar, se creará un nuevo documento, caso contrario, se cargará un archivo previo.

Una vez que el archivo ha sido creado o cargado, se podrá iniciar la adquisición de datos para normalizar la amplitud de la señal EMG, realizar ejercicios de fuerza, evaluar la fatiga y guardar los datos en la base de datos para llevar un historial.



Fig. 3. Esquema del sistema

B. Normalización de la Señal

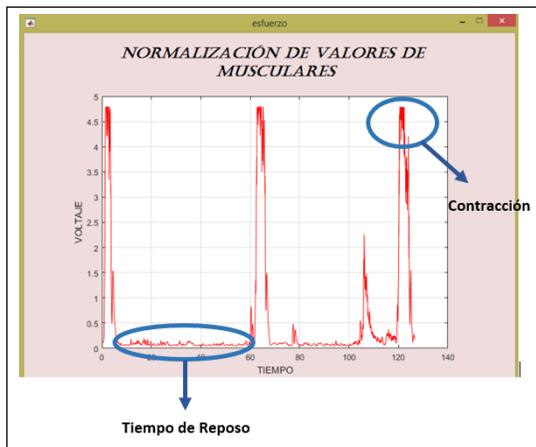


Fig. 4. Interfaz para la normalización de la amplitud

La señal muscular varía según el usuario, la ubicación de los electrodos y la motivación, sin embargo, es necesario tener en cuenta que los datos pueden variar incluso si se trata de la misma persona y la posición de los electrodos.

Por estos inconvenientes, se emplea la normalización de la amplitud de la señal que consiste en determinar una contracción de referencia, convirtiendo el eje de micro voltios a porcentaje, que es una escala de referencia fisiológica [18], [19]. La contracción de referencia se la realiza para cada paciente, es por esto que la normalización dependerá de la fuerza que el sujeto pueda ejecutar en función de la condición física y estado de sus músculos.

La Fig. 4, indica la pantalla donde la señal EMG será adquirida para realizar la normalización de la amplitud, a través de la prueba de “Contracción Isométrica Máxima Voluntaria”, MVIC, por sus siglas en inglés.

Se debe destacar que para la ejecución de esta prueba se debe desarrollar ejercicios que provoquen la máxima inervación del músculo bajo estudio. Las contracciones se realizarán entre 3-5 segundos, seguido de un descanso entre 30-60 segundos. La Tabla 1, indica los ejercicios de activación muscular para el bíceps y tríceps braquial [16].

TABLA I
EJERCICIOS DE ACTIVACIÓN MUSCULAR

Grupo muscular	Ejercicio	Comentario
Bíceps Braquial		Una normalización válida consiste en sujetar de forma segura el codo y tronco. La mejor manera es estar sentado o arrodillado (delante del banco). El ejercicio de control será usando la prueba MVC para el dorsal ancho.
Tríceps Braquial		Para la normalización del tríceps B. se realiza el mismo procedimiento que para el Bíceps, sin embargo, el ejercicio de control será usando la prueba MVC para el pectoral mayor.

C. Fuerza



Fig. 5. Interfaz para ejecutar los ejercicios de fuerza

La pantalla de fuerza permitirá analizar el nivel de contracción que puede ser alto, medio y bajo, según las siguientes consideraciones:

- En su mayoría, los ejercicios musculares se realizan entre el 40% – 60% de la MVIC, para provocar un efecto positivo en el incremento de fuerza [16];
- Valores menores al 40% de la MVIC serán considerados como niveles de contracción bajos;
- Valores que se encuentren en el rango de 40% a 60% se los considera niveles de contracción media;
- Valores superiores al 60% serán interpretados como contracciones altas [16], [20].

Adicionalmente, se puede determinar la intensidad de la contracción mediante la selección de un valor de referencia de fuerza a la cual se ejecutará el ejercicio, complementándose con indicadores visuales para llevar a cabo es tarea. La Fig. 5, muestra la interfaz que brinda soporte para la ejecución de los ejercicios de fuerza.

D. Fatiga Muscular

La fatiga muscular se define como la incapacidad de producir fuerza con el músculo o a falta de mantenimiento de la fuerza requerida. Por lo general, la fatiga muscular es el resultado de trabajos prolongados o repetitivos [21].

El análisis de la fatiga muscular es importante para evitar daños en el comportamiento mecánico de los músculos, permitiendo entrenarlos hasta los niveles que son tolerados por los mismos.

La interfaz en la cual se ejecutará el análisis de fatiga muscular es el mostrado en la Fig. 6.

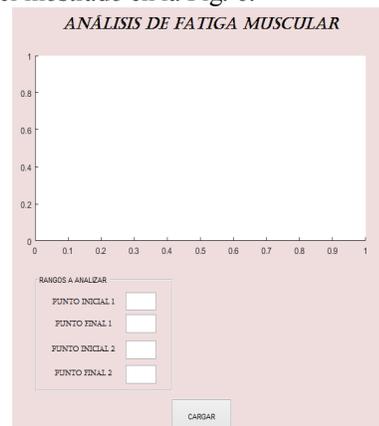


Fig. 6. Interfaz para el análisis de fatiga muscular

El método más común para evaluar la fatiga muscular se realiza en el dominio de la frecuencia mediante estimadores espectrales basados en Fourier. El análisis de fatiga consiste en determinar el espectro de potencia, aplicando la transformada de Fourier a la función de autocorrelación de la señal EMG señalada en (1), para obtener la densidad del espectro de potencia (PSD) indicada en (2), [15].

$$\hat{r}_{mm}(k) = \frac{1}{L} \sum_{l=0}^{L-l-k} m(k+l)m(l), 0 \leq k < L \quad (1)$$

Donde, $m(k)$ es una única realización del proceso y L corresponde al número de muestras grabadas de la señal.

$$\hat{S}_{mm}(e^{-jk\omega}) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \hat{r}_{mm}(k)e^{-jk\omega} \quad (2)$$

Donde, $e^{-jk\omega}$ es la k -ésima armónica sinusoidal y \hat{r}_{mm} es la estimación de una función de autocorrelación.

El estimador PSD más utilizado en el análisis de las señales musculares es el periodograma dado por (3)

$$\hat{S}_{mm}(e^{-j\omega}) = \frac{1}{L} |M(e^{j\omega})|^2 \quad (3)$$

Donde $|M(e^{j\omega})|^2$ corresponde a la densidad de energía espectral de la energía de la señal finita y se calcula la frecuencia media del espectro [21], dado por (4)

$$MNF = \frac{\sum_{j=1}^M f_j P_j}{\sum_{j=1}^M P_j} \quad (4)$$

Donde f_j es el valor de la frecuencia del espectro de potencia EMG en el intervalo de potencia j , P_j es el espectro de potencia EMG en intervalo de frecuencia j y M es la longitud del intervalo de frecuencia. Para señales EMG, M se define generalmente como la siguiente potencia del doble de la longitud de los datos EMG en el dominio del tiempo [22].

Con los valores obtenidos del cálculo de la frecuencia media o mediana, se aplican los siguientes criterios para desarrollar la evaluación de la fatiga muscular:

- Si la amplitud del EMG aumenta y el espectro se desplaza hacia la izquierda, se considera como resultado de fatiga muscular;
- Si la amplitud del EMG disminuye y el espectro se desplaza hacia la derecha, se considera una recuperación de la fatiga muscular anterior [16].

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas se realizan sobre un grupo de diez pacientes con edades entre 20 y 35 años, en un entorno supervisado por dos fisioterapeutas y con la asistencia de cuatro estudiantes de fisioterapia. Los pacientes seleccionados, se dividen en:

- Pacientes que presentan algún tipo de dolencia o lesión en el hombro o en la extremidad superior debido a lesiones causadas por el entrenamiento físico.

- No presentan ningún tipo de dolencia o lesión en el hombro o en la extremidad superior y que, además, realizan actividades físicas de manera cotidiana.
- No presentan ningún tipo de dolencia o lesión en el hombro o en la extremidad superior pero no realizan ningún tipo de actividad física.



Fig. 7. Ejercicios de fuerza

Una vez que la normalización de la señal ha sido realizada, se puede proceder con los ejercicios de fuerza, la Fig. 7 indica la ejecución de un ejercicio por 5 segundos, seguido de un descanso de 10 segundos, aproximadamente. En la interfaz gráfica, se puede ver el nivel e intensidad de contracción a través de señales visuales (Set-Point y luces).

Una vez ejecutados los ejercicios de fuerza, se puede proceder a realizar el análisis de fatiga muscular, dando como resultado que, al comparar dos porciones de la señal pura, el sistema da como resultado una recuperación de la fatiga muscular, como indica la Fig. 8.

Adicionalmente, el sistema permite grabar históricos, los cuales son mostrados en la Tabla II.

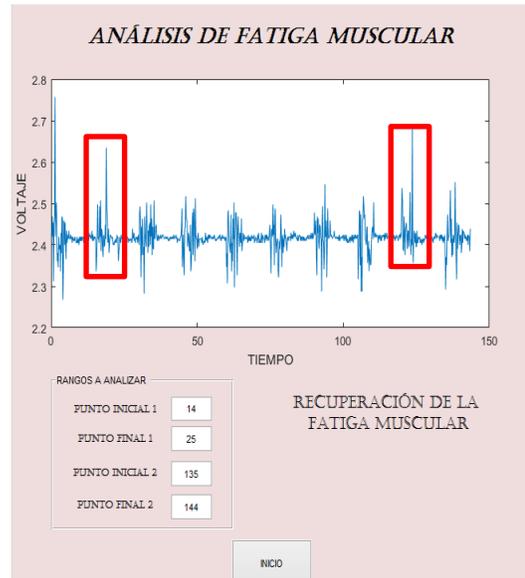


Fig. 8. Interfaz para evaluar fatiga muscular

TABLA II
HISTORIALES GENERADOS

Máximo	Mínimo	Set-Point	Fecha
4,77987763	1,52963325	40	26/03/2018
4,7802189	0,52318112	40	28/03/2018
4,72667118	0,51790304	40	02/04/2018
4,63946869	0,69346561	50	04/04/2018
4,78110599	0,35639761	50	09/04/2018
4,62141027	0,15616177	50	11/04/2018
4,18332889	0,28789333	60	13/04/2018
4,39897972	0,27620754	60	16/04/2018
4,68154524	0,14737471	30	24/05/2018

Culminadas las mismas, se encuestó a los especialistas y estudiantes de fisioterapia sobre las ventajas que presenta el software, cuantificando los resultados entre 1-5 (1 mínimo, 5 máximo), los usuarios manifestaron una alta aceptación en cuanto a la implementación del software en centros de terapia para complementar la rehabilitación, como indica la Fig. 9.

Tanto para la importancia de los indicadores visuales, como la utilidad del sistema para ser empleado en el desarrollo de ejercicios de fuerza, se cuantificó los resultados como mucho, medio y poco, dando como resultado que las personas consideran beneficioso el software desarrollado, como se muestra en la Fig. 10.

Adicionalmente, todos concordaron en que el sistema debería ser incorporado de forma permanente durante las sesiones de rehabilitación.

Además, se realizó una comparativa entre la información brindada por el sistema y el criterio del especialista dando como resultado que el nivel de similitud es alto, y los pequeños errores son debido a desprendimiento de los electrodos que adquieren la señal u otras condiciones de hardware desfavorables. Esta información está validada por un informe emitido por el fisioterapeuta principal del centro de rehabilitación en el que se realizaron las pruebas.

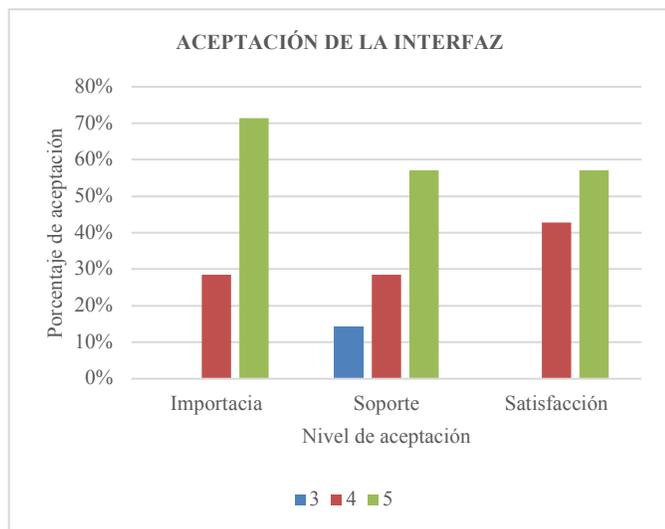


Fig. 9. Aceptación de la interfaz

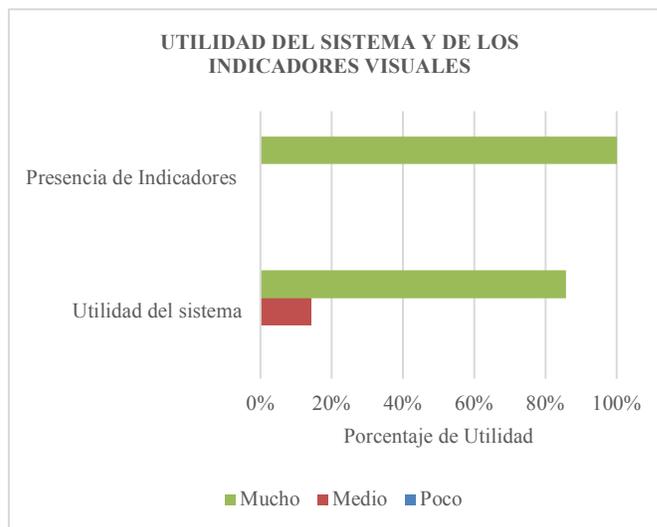


Fig. 10. Utilidad de la interfaz

La técnica de bio-realimentación no tiene mayor implementación en el país por su alto costo, por lo que se opta por las técnicas tradicionales dificultando realizar una comparación con otros equipos que permitan determinar la sensibilidad del sistema.

IV. CONCLUSIONES

El software desarrollado es una herramienta de soporte para los fisioterapeutas y estudiantes, en cuanto a la ejecución de ejercicios de fuerza y análisis de fatiga muscular, ya que permite que el paciente obtenga conocimiento de las señales generadas por los músculos.

Esta herramienta se adapta a las diversas condiciones de los usuarios, ya que está orientado no sólo a la rehabilitación sino también al entrenamiento muscular, con el fin de obtener mejores resultados con la ayuda de las alarmas visuales contenidas en la interfaz gráfica.

Este proyecto puede ser considerado como base para posteriormente emplearlo en otros grupos musculares, como, por ejemplo, cuádriceps, bíceps femoral o tríceps sural, con el fin de corroborar su validez con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas.

La creación de históricos es útil para determinar la evolución del músculo durante las sesiones de terapia y además permite identificar músculos débiles según los niveles de voltaje generados por los mismos.

Debido a la gran aceptación del software por parte de los especialistas y estudiantes de fisioterapia, el sistema puede ser implementado durante las sesiones de terapia como herramienta de soporte para la rehabilitación.

REFERENCIAS

- [1] meyerPT, "meyerPT," Prometheus Group, [Online]. Available: <https://www.meyerpt.com/pathway-mr-20-emg-system>. [Accessed 3 Octubre 2018].
- [2] B. Ltd, "Biometric Ltd," Biometric Ltd, 2015. [Online]. Available: <http://www.biometricltd.com/systems-emg.htm>. [Accessed 3 Octubre 2018].

- [3] H. S. W. H. A. Hüter-Becker, *Fisiología y teoría del entrenamiento*, Badalona: Paidotribo, 2006.
- [4] I. Khazan, *The clinical handbook of biofeedback: a step by step guide for training and practice with mindfulness*, Chichester: Wiley-Blackwell, 2013.
- [5] A. Karatsidis, R. Richards, J. Konrath, J. van den Noort, M. Schepers, G. Bellusci, J. Harlaar and P. Veltink, "Validation of wearable visual feedback for retraining foot progression angle using inertial sensors and an augmented reality headset," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2018.
- [6] A. McIntosh, Vignais, Nicolas and E. Biddiss, "Biofeedback interventions for people with cerebral palsy: a systematic review protocol," *Systematic Reviews*, 2017.
- [7] K. West, *Biofeedback*, New York: CHELSEA HOUSE, 1990.
- [8] C. Jaramillo, *Diseño e implementación de un sistema de electromiografía computarizada*, Sangolquí, 2015.
- [9] J. Basmajian and C. De Luca, *Muscles Alive-their functions revealed by electromyography*, Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.
- [10] C. De Luca, *Surface electromyography: detection and recording*, DelSys Incorporated, 2002.
- [11] A. Technologies, *Myoware Muscle Sensor*, Advancer Technologies, 2016.
- [12] I. Cifuentes, *Diseño y construcción de un sistema para la detección de señales electromiográficas*, Yucatán, 2010.
- [13] Arduino, "Arduino," Arduino, [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. [Accessed 13 Marzo 2018].
- [14] C. A. Alva Coras, *Procesamiento de señales de electromiografía superficial para la detección de movimiento de dos dedos de la mano*, Lima, 2012.
- [15] J. Brazeiro, S. Petracchia and M. Valdés, *Mano controlada por señales musculares*, Montevideo, 2015.
- [16] P. Konrad, *The ABC of EMG A practical Introduction to Kinesiological Electromyography*, Scottsdale: Noraxon, 2006.
- [17] S. Day, *Important Factors in Surface EMG Measurement*, Calgary: bortec biomedical.
- [18] M. Halaki and K. Ginn, "Normalization of EMG Signals: To Normalize or Not to Normalize and What to Normalize to?," *INTECH*, 2012, pp. 175-194.
- [19] D. Meldrum, E. Cahalane, R. Conroy, D. Fitzgerald and O. Hardiman, "Maximum voluntary isometric contraction: Reference values and clinical application," *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, no. 8, pp. 47-55, 2007.
- [20] S. Salvesen, *The effect of maximal vs. Submaximal contractions on crossover fatigue between limbs*, Trondheim, 2017.
- [21] J. de las Heras, *Implementación de métodos para medir la fatiga muscular en cirujanos a través de electromiografía*, Cantabria, 2016.
- [22] J. Correa, E. Morales, J. Huerta, J. González and C. Cárdenas, "Sistema de Adquisición de Señales SEMG para la Detección de Fatiga Muscular," *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, vol. 37, no. 1, 2016.



actualmente se encuentra desarrollando su proyecto de titulación.

Gabriela Poveda nació el 10 de marzo de 1993 en Quito, Ecuador. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Militar "Eloy Alfaro", donde obtuvo el bachillerato general. Estudia en la Escuela Politécnica Nacional la carrera de Ingeniería en Electrónica y Control, donde



Madrid. Durante sus estudios de maestría colaboró en el Centro de Tecnología Biomédica de la universidad en el área de bio instrumentación y nanotecnología. Actualmente desempeña el cargo de docente en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional.

María Trujillo nació en Riobamba, Ecuador el 15 de febrero de 1990. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Santa Mariana de Jesús de su ciudad natal. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniera en Electrónica y Control en 2014. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería Biomédica en julio del 2016 en la Universidad Politécnica de



Actualmente, es Asesor del Vicerrector de Investigación y Proyección Social de la EPN. Es el Coordinador de Investigación de la Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y Posgrados – REDU. Ocupa el cargo de Profesor Principal del Departamento de Automatización y Control Industrial de la EPN.

Andrés Rosales Ingeniero en Electrónica y Control (Escuela Politécnica Nacional – EPN, Ecuador, 2001), y Doctor en Ingeniería en Sistemas de Control (Universidad Nacional de San Juan – UNSJ, Argentina, 2009). Investigador invitado (Universidad de Hannover,

Análisis Exploratorio de Datos Geográficos Voluntarios: estudio de caso en la administración zonal Manuela Sáenz de Quito

Exploratory Data Analysis of Volunteered Geographic Information: case study in the Manuela Sáenz administrative zone of Quito

R. Castro, M. Luna

Resumen—El desarrollo tecnológico de la primera década de este siglo provocó una explosión de contenidos generados por usuarios y compartidos en la web. En geografía, esta tendencia se denomina Información Geográfica Voluntaria; OpenStreetMap (OSM) es su proyecto más reconocido. Si bien se ha investigado a OSM extensivamente —en especial para conocer su calidad— tales investigaciones no se han realizado en Ecuador, a pesar de que sí se ha mapeado en este país. Este artículo propone un Análisis Exploratorio de Datos como primer acercamiento a conocer las características de OSM. El área de estudio es la Administración Zonal Manuela Sáenz de Quito. Se utilizó software libre SIG y de programación, aplicando métodos no-gráficos y gráficos. Los resultados se presentan en varios gráficos y se discuten los fenómenos relacionados a número de nodos y de keys, condición de área y los keys: building, highway y source. Se concluye indicando aspectos de OSM que requieren futura investigación.

Palabras clave—análisis exploratorio de datos, lenguaje R, OpenStreetMap, VGI

Abstract—Technological development during the first decade of this century provoked a boom of user-generated, web-shared media. In geography, such trend is called Volunteered Geographic Information; OpenStreetMap (OSM) is its most famed project. While several research has been made about OSM —particularly, concerning its quality—, none of such has been made in Ecuador in despite that, indeed, there has been mapping in this country. This paper proposes an Exploratory Data Analysis as first approach to understanding the features of OSM. Study area is the Manuela Sáenz administrative zone of Quito. Free GIS and programming software were used, while applying non-graphic and graphic methods. Results are displayed in several plots and phenomena are discussed, regarding number of keys and nodes, area condition, and building, highway and source keys. The paper concludes identifying OSM aspects for further research.

Index Terms—exploratory data analysis, OpenStreetMap, R language, VGI

I. INTRODUCCIÓN

DURANTE la primera década del siglo corriente, el desarrollo de un conjunto de tecnologías —particularmente la denominada Web 2.0— permitió dar el salto hacia una internet más colaborativa; fruto de este salto fue la explosión de contenidos generados por usuarios [1] [2] [3]. El ámbito geográfico no fue una excepción: la generación colaborativa de datos geoespaciales ha recibido considerables atención y análisis; de esta manera, se han desarrollado conceptos como la “Información Geográfica Voluntaria” (VGI, por sus siglas en inglés) [1] y la “Wikificación del SIG” [2].

Entre las iniciativas que se han creado en el marco VGI, OpenStreetMap (OSM) es posiblemente la más reconocida. Desde 2004 es “un esfuerzo internacional por crear una fuente de datos libre, disponible en un mapa, a través del esfuerzo voluntario” [1]. Así como otros proyectos VGI, la naturaleza OSM es comunitaria, de roles fluidos, de propiedad común, y “palimpsestica” (un producto incompleto pero que crece continuamente) [3]; de todas maneras, es una alternativa económica e inmediata en varios lugares del mundo donde un mapa digital no existe o no se encuentra liberado.

Aunque la comunidad científica, las instituciones públicas y privadas, las industrias y la gente en general han reconocido el potencial de OSM, aún existe escepticismo respecto a la calidad de estos datos geoespaciales; escepticismo justificado por las motivaciones y las maneras por medio de las cuales los usuarios los aportan [3]. Esto ha motivado, en la última década, una serie de investigaciones alrededor de OSM que se refieren —en general— a cuatro aspectos: Administración y calidad de datos; Contexto social; Modelado de redes y rutas; y Administración

Article history:
Received 07 September 2018
Accepted 24 September 2018

R. Castro y M. Luna pertenecen al Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador. (emails: rrcastro1@espe.edu.ec, mpluna@espe.edu.ec)

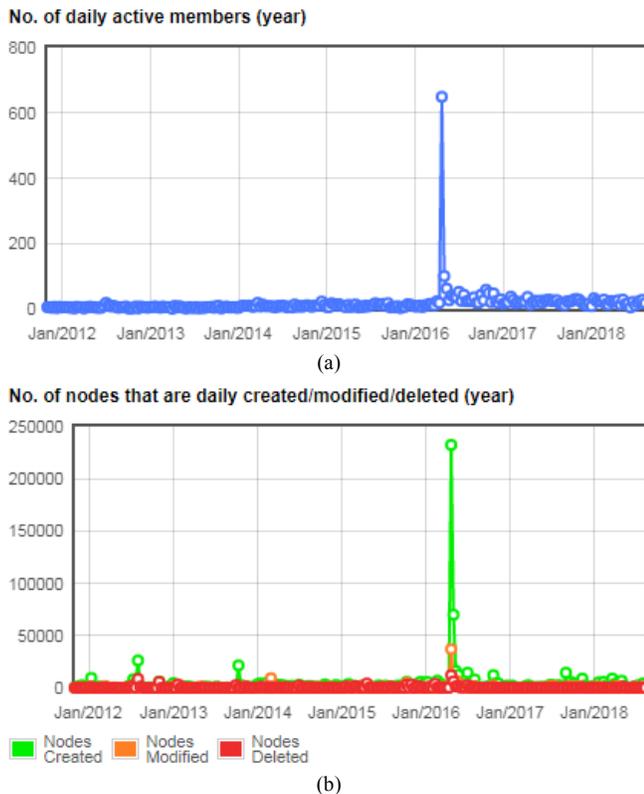


Fig. 1. Miembros activos (a) y nodos creados/modificados/eliminados (b) diariamente en Ecuador, en el periodo enero 2012 – agosto 2018. Observar el pico en abril de 2016. Fuente: <http://osmstats.neis-one.org>.

territorial y urbana [4]. De ellos, el primer aspecto es el que ha sido más investigado. Dado que un proyecto como OSM posee “su propia geografía a través del tiempo y del espacio” (varía considerablemente entre épocas y países), y que “algunos países están emergiendo [...] y aún hay grandes vacíos” [4], es necesario continuar su investigación.

En Ecuador existe una comunidad OSM pequeña en comparación a otros países más desarrollados; no obstante, se han realizado considerables contribuciones a este proyecto. Particularmente, de acuerdo al sitio web <http://osmstats.neis-one.org>, en abril de 2016 se alcanzó un pico de miembros activos y nodos creados -649 y 232462 respectivamente- en un solo día (Fig. 1); este nivel de participación no ha vuelto a suceder [5]. Allende esta comunidad que participativamente ha mapeado en Ecuador, hasta la fecha no se han desarrollado estudios en ninguno de los aspectos mencionados.

En este contexto, el presente artículo propone realizar un Análisis Exploratorio de Datos (EDA, por sus siglas en inglés) en un conjunto de vías OSM, con el propósito de comenzar a caracterizar esta información en el caso particular de una urbe en Ecuador. El EDA es un proceso “fundamental después de la recolección y pre-procesado de datos, donde los datos son simplemente visualizados, ploteados y manipulados sin ninguna suposición, con el propósito de ayudar a evaluar la calidad de los datos y construir modelos” [6]. Típicamente, un EDA incluye métodos de dos tipos: no-gráficos (tabulación, parámetros estadísticos...) y gráficos (histograma, boxplot...); métodos de ambos tipos fueron aplicados en este trabajo.

El EDA es un proceso empírico, descriptivo y útil pues,

```
<way id="31171329">
  <nd ref="346913487"/>
  <nd ref="1488977244"/>
  <nd ref="346913488"/>
  <nd ref="346913490"/>
  <nd ref="346913492"/>
  <nd ref="346913487"/>
  <tag k="addr:city" v="Quito"/>
  <tag k="addr:street" v="Avenida Río Amazonas"/>
  <tag k="building" v="apartments"/>
  <tag k="building:levels" v="13"/>
  <tag k="name" v="Centro Comercial Unicornio II"/>
  <tag k="source" v="Reconocimiento cartográfico por KG 2016"/>
  <tag k="website" v="http://www.ecuadortur.com"/>
</way>
```

Fig. 2. Estructura XML por etiquetas (tags) de una entidad (way) dentro de un archivo .osm. El primer nodo (naranja) y el último (amarillo) son el mismo, indicando que se trata de un área.

realizado adecuadamente, conduce al investigador a descubrir nuevos fenómenos [7]. La aplicación de este y otros métodos propios de la ciencia de datos es coherente en el marco de la VGI, puesto que es posible considerar a la misma como *Big Data*. Este concepto es complicado de definir; sin embargo, tradicionalmente existen tres características que permiten identificar lo que es *Big Data*: volumen, velocidad y variedad [8]. En conjunto, las tres identifican a cantidades gigantescas de datos, generados rápidamente, y por fuentes diversas; las tres son características de OSM y, en consecuencia, justifican los métodos utilizados en el presente trabajo.

II. BASE TEÓRICA

OpenStreetMap (abreviado OSM) es el “proyecto que crea y distribuye datos geográficos gratuitos para el mundo” [9]. Se puede considerar el proyecto VGI más importante y que mayor acogida ha tenido en los Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) y el público en general, alrededor de todo el mundo [4]. A la fecha existen más de 250 aplicaciones [9] que dependen directamente de los datos OSM; lógicamente, los beneficios a obtenerse de dichas aplicaciones serán en función de la calidad de esos datos. Los problemas de calidad (error posicional, coherencia lógica...) pueden dirigir al usuario a realizar malas decisiones [10].

En el contexto de OSM, los puntos (tiendas, restaurantes...) se denominan *nodes*; las polilíneas (calles, puentes...), *ways*; los polígonos (edificios, parques...), *areas*; y los conjuntos de elementos, *relations*. Cada entidad posee una serie de atributos almacenados en la forma de etiquetas, compuestas de una clave y un valor: $tag = key + value$ (Fig. 2). Las entidades pueden accederse, editarse y descargarse gratuitamente en la forma de un archivo con extensión .osm que posee estructura XML (Extensible Markup Language) [11].

En esta estructura los *ways* son simplemente series de *nodes*, mientras que las *areas* son *ways* donde el primer y el último *node* son el mismo; la Fig. 2 presenta un ejemplo de *area*. Es importante considerar que OSM no es un producto estático, sino que prácticamente en todo momento está siendo aumentado, modificado y revisado. Actualmente existen varios métodos para agregar nuevos objetos: importación masiva de bases de datos, subida de *tracks* GPS, calco de imágenes aéreas suministradas por Bing, entre otros [11].



Fig. 3. Ubicación del área de estudio (Manuela Sáenz) con respecto a las demás Administraciones Zonales del Distrito Metropolitano de Quito. Fuente de la cobertura shapefile: <http://gobiernoabierto.quito.gov.ec>.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio seleccionada corresponde a la Administración Zonal Manuela Sáenz, una de ocho divisiones del Distrito Metropolitano de Quito, ubicada al centro del mismo (Fig. 3). Se escogió con la premisa de que, siendo una zona céntrica y urbana, se encuentra bien mapeada en OSM. Para la realización del EDA se utilizó dos clases de software libre: por un lado, un GIS para la manipulación del aspecto espacial de los datos; y por otro lado un ambiente de programación para el aspecto estadístico de los datos. El software usado es QGIS 2.18 y RStudio 1.1 respectivamente.

QGIS fue utilizado para descargar los datos (.osm) correspondientes al área de estudio y transformarlos a una base de datos SpatiaLite (.db); se trata de una base de datos relacional SQLite adaptada al ámbito geográfico [12].

RStudio fue utilizado para extraer las tablas *ways_nodes* y *ways_tags* de la base de datos, y arreglarlas de manera que los datos se presenten ordenadamente en *tibbles*; en el contexto de R, un *tibble* es una tabla de datos con funcionalidad y representación mejorada [13]. Los paquetes empleados fueron: *RSQLite*, para conectar al .db; *dplyr* y *tidyr*, para manipular y organizar los *tibbles*; y *ggplot2*, para graficar [14].

Las entidades de interés corresponden solamente a *ways*, distinguiendo los que representan áreas y los que no. Se exploró los datos en función de los *keys* presentes en los *tags*, priorizando aquellos que se encuentren en mayor cantidad y aporten información más relevante; el significado de cada *key* se puede hallar en la web de OSM. Se generaron gráficos acordes a la estructura de los datos y la finalidad del EDA.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer resultado corresponde a contabilizar *keys* y *ways* distintos, hallando en total 267 y 28146 respectivamente; los cuatro *keys* más presentes (Fig. 4a) son: *building*, que identifica la categoría de un edificio; *source*, la fuente de datos; *name*, el nombre de la entidad; y *highway*, la categoría de una vía. Los cuatro *keys* son escogidos para mayor análisis. Es importante notar que ciertos *keys* se excluyen mutuamente; *highway* y

building son un ejemplo, puesto que una vía no es un edificio y viceversa. Los edificios se contabilizan entre los *ways* dado que los polígonos son simplemente líneas cerradas. Por otra parte, la mayoría de *keys* no son excluyentes, razón por la cual las columnas no suman 28146 en este gráfico. La escala de color utilizada se interpreta de la siguiente manera: la condición de un *way* como *area* se computó en una variable lógica (*is_area* = TRUE identifica un *area*); computar la media de esta variable (TRUE = 1, FALSE = 0) equivale a calcular el porcentaje de *ways* que sí son *areas*. En la Fig. 4a, la escala de color indica un hecho lógico: que los edificios son polígonos y las vías no (salvo ciertas excepciones como los redondeles); pero además indica otros fenómenos, como que las etiquetas de fuente y de nombre son más frecuentes en las vías que en los edificios.

La Fig. 4b exhibe la frecuencia por número de *keys*; es decir cuántos *ways* tienen un *key*, cuántos dos, etc. Se empleó un gráfico de barras y no un histograma dado que el valor máximo apenas es 20; la mediana es tres *keys*. Obsérvese la escala logarítmica en el eje Y; debido a esta transformación no se encuentran graficadas las frecuencias de uno (en 16, 18 y 20 *keys*). La escala de color indica que predominan *ways* en valores medios de *keys*, y *areas* en valores bajos y altos; ello es importante en el sentido de que, a mayor número de *keys*, se conoce mayor información de una entidad y se mejora su exactitud temática. El gráfico parece indicar que unos pocos edificios son los que poseen más información.

La Fig. 5a exhibe el resultado de ejecutar *summary* (función que resume por variable el contenido de una tabla) sobre todos los *ways*, con la información relevante escogida (incluyendo los

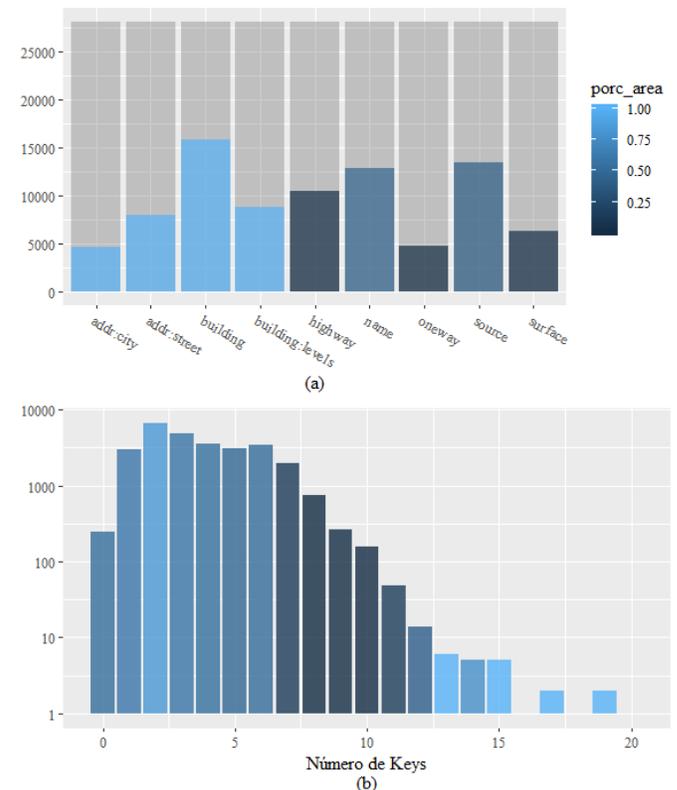


Fig. 4. Gráficos correspondientes a *keys* más presentes (a) respecto al total de *ways* (en gris), y frecuencia por número de *keys* (b). En ambos casos, la escala de color indica el porcentaje de *ways* que son *areas* (1.00 = 100% *areas*).

```

> summary(Tf)
  id          n_nodes      i_node      f_node
Min. : 24159622 Min. : 2.000 Min. : 2.617e+08 Min. : 2.617e+08
1st Qu.:33155863 1st Qu.: 4.000 1st Qu.:1.625e+09 1st Qu.:1.630e+09
Median :426174164 Median : 5.000 Median :4.245e+09 Median :4.245e+09
Mean :362453554 Mean : 6.361 Mean :3.238e+09 Mean :3.249e+09
3rd Qu.:445113442 3rd Qu.: 7.000 3rd Qu.:4.367e+09 3rd Qu.:4.367e+09
Max. :620418132 Max. :1193.000 Max. :5.862e+09 Max. :5.862e+09

  is_area      n_keys      building      highway
Mode :logical Min. : 1.000 yes : 5046 residential: 4783
FALSE:10671 1st Qu.: 2.000 apartments: 4931 primary : 955
TRUE :17475 Median : 3.000 commercial : 2290 service : 885
Mean : 3.807 house : 1919 secondary : 874
3rd Qu.: 5.000 residential: 1249 footway : 690
Max. :20.000 (Other) : 348 (Other) : 2227
NA's :245 NA's :12363 NA's :17732

  source      name
Yahoo! Aerial Imagery : 6659 Length:28146
Reconocimiento cartográfico de campo 2016 por KG.: 3156 Class :character
Reconocimiento cartográfico por KG 2016. : 998 Mode :character
KG Ground Survey 2016 : 887
Reconocimiento cartográfico de campo 2016 por KG : 724
(Other) : 993
NA's :14729

```

(a)

```

> summary(U)
  is_area      building      highway
Mode :logical apartments : 4931 residential: 4783
FALSE:10671 commercial : 2290 OTROS : 1723
TRUE :17475 house : 1919 primary : 955
OTROS : 5394 service : 885
residential: 1249 secondary : 874
NA's :12363 (Other) : 1194
NA's :17732

  source      n_keys      n_nodes
Bing Imagery : 55 Min. : 0.000 Min. : 2.000
GPS : 87 1st Qu.: 2.000 1st Qu.: 4.000
KG Ground Survey 2016: 6482 Median : 3.000 Median : 5.000
OTROS : 133 Mean : 3.773 Mean : 6.361
Yahoo! Aerial Imagery: 6660 3rd Qu.: 5.000 3rd Qu.: 7.000
NA's :14729 Max. :20.000 Max. :1193.000

```

(b)

Fig. 5. Resumen de variables de interés para todas las entidades; versiones original (a) y corregida (b). Las variables descritas son: id, nodos inicial y final (i_node , f_node), número de nodos y keys (n_nodes , n_keys), condición de área (is_area) y keys de estudio ($building$, $highway$, $source$, $name$).

$keys$ $building$, $source$, $name$ y $highway$). Los nodos inicial (i_node) y final (f_node) permiten obtener la condición de $area$ (is_area) de un way . El valor “Not Available” (NA) en el número de $keys$ (n_keys) descubre la presencia de entidades con ninguna etiqueta -el valor correcto sería 0-; por tanto, existen 245 $ways$ que se pueden graficar pero carecen información, ni siquiera sus nombres. Se halló 32, 44 y 26 valores diferentes de las variables $building$, $source$ y $highway$ respectivamente; en muchos casos un valor aparece una única vez. Entonces, se optó por seleccionar en cada variable los valores más abundantes y agrupar los restantes en “OTROS”. Además, se corrigió $source$ puesto que algunos valores son en realidad el mismo, escrito de varias maneras: por ejemplo, “Reconocimiento cartográfico por KG 2016.” y “KG Ground Survey 2016”. Con estas consideraciones se generó un $summary$ corregido (Fig. 5b); observar que el número medio de $keys$ se corrige de 3.80 a 3.77.

El número de nodos (n_nodes) no presenta NAs -puesto que un way sin $nodes$ simplemente no existe- pero sí valores atípicos, los cuales fueron identificados en un gráfico de caja (boxplot). La Fig. 6 presenta el histograma (gris) de nodos por entidad, recortado hasta un máximo de 100 nodos para evitar dichos valores atípicos; las dos rectas añadidas permiten discernir la condición de $area$ (la recta azul representa áreas o polígonos) y la suma de ambas corresponde al histograma (observar que el eje Y es logarítmico). Lo que el gráfico sugiere

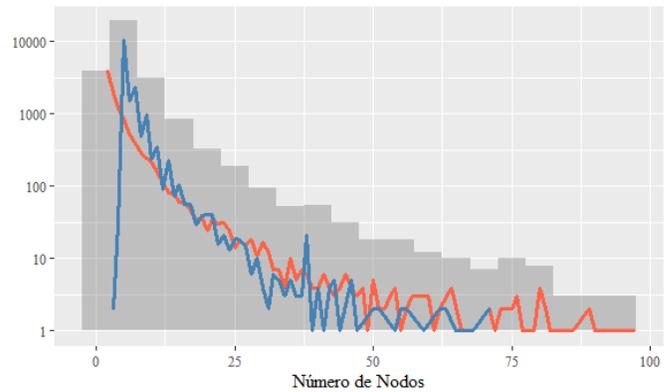


Fig. 6. Histograma (gris) y rectas correspondientes a frecuencia por número de nodos en polilíneas (naranja) y en polígonos (azul).

es que la cantidad de entidades decrece paulatinamente a mayor número de nodos; esto es cierto para las polilíneas, mientras que para los polígonos la frecuencia se dispara desde tres -no hay polígonos con dos nodos- hasta cuatro y cinco nodos, números típicos de vértices en una construcción.

Gráficos de caja fueron implementados para permitir la comparación del número de nodos con las variables $building$ y $highway$ (Fig. 7). De acuerdo a $building$ no hay diferencias significativas en la mediana, excepto para el valor NA -que es difícil de interpretar pues no identifica únicamente a las entidades que no son edificios- que posee menor mediana, pero al mismo tiempo valores atípicos más elevados. En cambio, de acuerdo a $highway$, sí se diferencia la categoría $primary$ -vías principales-, con menor mediana. El número de nodos es importante porque está relacionado con qué tan bien se dibujó una entidad: en general, a mayor número de nodos, mejores rasgos, a mayor número de nodos predominan las edificaciones sobre las vías.

Otro aspecto importante del gráfico de caja son los valores atípicos, que aparecen como puntos; tanto en los gráficos como en los estadísticos resalta un valor extremadamente alto de 1193 nodos. A través de su id (561073754), se identificó que se trata un río (<tag k="waterway" v="river"/>) sin información respecto a su nombre o la fuente de datos. No fue posible identificarlo en QGIS debido a que -como se verificó con varios ways-, al descargar datos OSM en este software, se realiza un recorte que deja afuera varios nodos necesarios. Basta que falte un *node* para que no se pueda dibujar un *way*. En esta situación, el camino alternativo es verificar en el propio mapa OSM en la web; se identificó, de esta manera, que se trata del río Machángara.

El análisis utilizando gráficos de caja se repitió para el número de *keys*, incluyendo la variable *source* (Fig. 8). De acuerdo a *building* se encontró medianas semejantes entre casas, edificios comerciales, residenciales y de apartamentos. Mayor mediana y mayor cantidad de valores atípicamente altos fueron encontrados en la categoría OTROS, donde se agrupó a

los demás valores; tiene sentido pensar que se tratan de establecimientos especializados (educativos, públicos...) y por ende presentan más *keys*. De acuerdo a *highway* poseen mayor mediana las categorías primaria, secundaria y terciaria. Cabe resaltar que en estos gráficos el ancho de la caja es proporcional al número de entidades en esa categoría; una consecuencia interesante de ello es que las tres categorías ya mencionadas contienen menos entidades -sus cajas son más estrechas- pero mayor cantidad de información, comparadas a las vías peatonales, residenciales, de servicio y otras. La misma conclusión es palpable en el análisis de acuerdo a *source*: mientras el calco de imágenes de Yahoo! y el reconocimiento de campo son fuentes de datos muy frecuentes -abarcan el 23.66% y el 23.02% de las entidades-, el calco de imágenes de Bing y la subida de *tracks* GPS son fuentes menos frecuentes pero relacionadas con mayor aporte de información por parte de los usuarios. La categoría OTROS también presenta mayor número mediano de *keys*, y abarca fuentes diversas como: mapa de la ciudad, conocimiento local, visita al campo, e incluso un usuario que escribió "viviendo aquí pues!". Los valores de NA en *source* están relacionados con menos cantidad de *keys*, pero hay que considerar que el propio *source* es un *key*; esto aplica a todos los análisis.

Si bien es posible aducir que "KG Ground Survey 2016" -el segundo *source* más frecuente- es la fuente que explica el pico abrupto de generación de nodos en abril de 2016 (Fig. 1), la manera correcta de comprobar esta hipótesis es analizar una etiqueta denominada *timestamp*. Desafortunadamente se comprobó que, al descargar los datos OSM a través de QGIS, no se obtiene esta y otra información de las entidades; además, aun obteniendo los datos completos -directamente desde la web

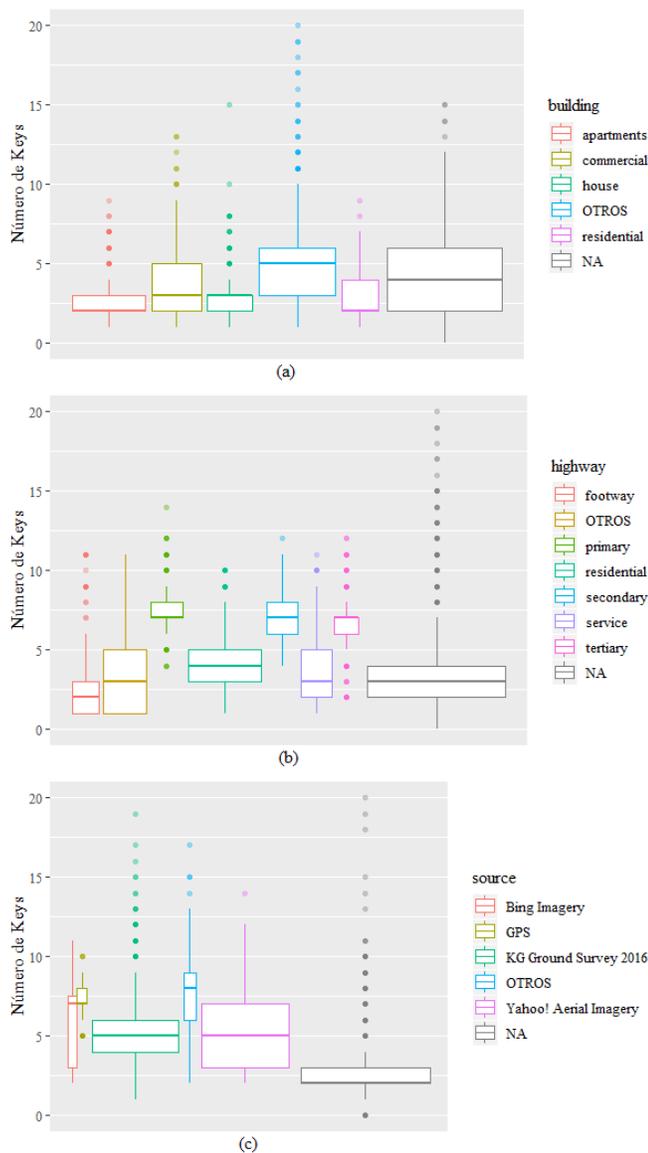


Fig. 8. Gráficos de caja correspondientes a número de *keys*, según las variables *building* (a), *highway* (b) y *source* (c).

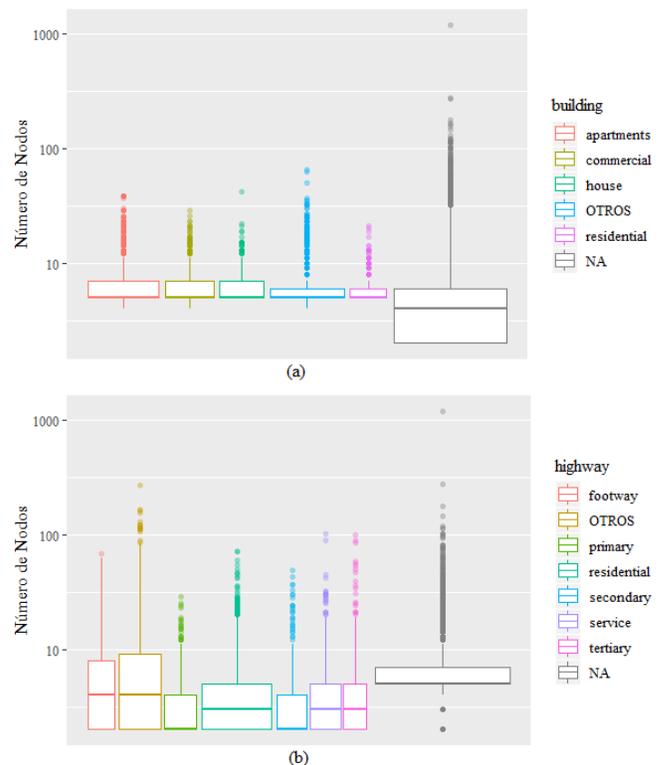


Fig. 7. Gráficos de caja correspondientes a número de nodos, según las variables *building* (a) y *highway* (b).

de OSM-, las herramientas de QGIS simplemente no tienen capacidad para obtener esas etiquetas. La comprobación de cuándo fueron aportados estas entidades, así como otros análisis relacionados con el aspecto temporal de las mismas, requerirán de la implementación de herramientas avanzadas de exploración de datos.

V. CONCLUSIONES

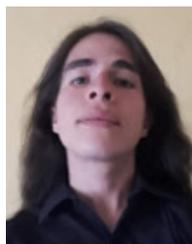
Se demostró la utilidad del EDA y el poder de un ambiente de programación estadístico, como lo es R, en el caso práctico de dar un primer vistazo a un conjunto valioso pero poco explorado -en el área de estudio escogida- de datos libres. La información VGI presenta tanto oportunidades como defectos que requerirán mayor investigación en el futuro, a fin de respaldar su utilización. El presente estudio posee la ventaja de ser aplicable a una escala mayor con pocas modificaciones; una ventaja oportuna, dada las características de Big Data que presentan este y otros conjuntos de datos espaciales.

Posibles maneras de continuar esta investigación incluyen analizar los *keys* que no son extraídos automáticamente por la herramienta de QGIS, pero se encuentran inmersos en la estructura XML de los datos OSM; tales *keys* (*user*, *version*, *timestamp*) pueden aportar información valiosa al EDA y demás análisis que deberían ser realizados posteriormente, en estos datos libres. También es factible integrar aún más el GIS con el ambiente de programación, analizando cómo los aspectos espaciales (longitud de las entidades, exactitud posicional) se relacionan con los aspectos aquí discutidos.

REFERENCIAS

- [1] M. Goodchild, "Citizens as sensors: the world of volunteered geography," *GeoJournal*, vol. 69, pp. 211–221, Nov. 2007.
- [2] D. Sui, "The Wikification of GIS and its consequences: Or Angelina Jolie's new tattoo and the future of GIS," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 1–5, Ene. 2008.
- [3] D. Coleman, Y. Georgiadou, J. Labonte, "Volunteered Geographic Information: The Nature and Motivation of Producers", *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, vol. 4, 2009.
- [4] J. Jokar, A. Zipf, P. Mooney, M. Helbich, "An Introduction to OpenStreetMap in Geographic Information Science: Experiences, Research, and Applications," en *OpenStreetMap in GIScience. Experiences, Research, and Applications*, Basilea, Suiza: Springer International Publishing, 2015, ch. 1, pp. 1–15.
- [5] OSMStats (Ago. 2018). Statistics of the free wiki world map (OpenStreetMap.org) created in Central European Time (CET) [Online]. Disponible en <http://osmstats.neis-one.org/?item=countries>
- [6] M. Komorowski, D. Marshall, J. Saliccioli, Y. Crutain, "Exploratory Data Analysis," en *Secondary Analysis of Electronic Health Records*, New York, Estados Unidos: Springer International Publishing, 2016, ch. 15, pp. 185–203.
- [7] B. Haig, "Commentary: Exploratory data analysis," *Frontiers in Psychology*, vol. 6, Ago. 2015.
- [8] M. Goodchild, "The quality of big (geo)data," *Dialogues in Human Geography*, vol. 3, no. 3, pp. 280–284, 2013.
- [9] OpenStreetMap (Ago. 2018). List of OSM-based services [Online]. Disponible en https://wiki.openstreetmap.org/wiki/List_of_OSM-based_services
- [10] P. Hashemi, R. Abbaspour, "Assessment of Logical Consistency in OpenStreetMap Based on the Spatial Similarity Concept", en *OpenStreetMap in GIScience. Experiences, Research, and Applications*, Basilea, Suiza: Springer International Publishing, 2015, ch. 2, pp. 19–36.
- [11] M. Sax-Barnett, "An Introduction to OpenStreetMap," presentado en *State of the Map US*, Washington D.C., Estados Unidos, Abr. 2014.
- [12] OSGeoLive (Ago. 2018). SpatiaLite [Online]. Disponible en http://live.osgeo.org/es/overview/spatialite_overview.html

- [13] Comprehensive R Archive Network (Ago. 2018). Tibbles [Online]. Disponible en <https://cran.r-project.org/web/packages/tibble>
- [14] R Core Team (Ago. 2018). R: A language and environment for statistical computing [Online]. Disponible en <https://www.R-project.org/>



Roger Castro se encuentra actualmente se encuentra obteniendo el título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí Ecuador. Su investigación se concentra en el Análisis Espacial de Datos y en los Datos Libres.



Marco Luna es desde febrero de 1995 profesor en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador. Obtuvo el título de Ingeniero Geógrafo de la Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador, en 1994. Recibió los títulos de Máster en Energía y Medio Ambiente de la Escuela Politécnica del Ejército, en 2008, y de Máster en Estadística Aplicada de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, en 2012. Obtuvo el título de Doctor en Ingeniería Geográfica de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, en 2017. Sus investigaciones se concentran en las Ciencias Geodésicas y el Análisis de Series Temporales.

Polaridad de las opiniones sobre un personaje público en el Ecuador

Polarity of opinions about a public person in Ecuador

Boris Herrera Flores

Resumen— La presente investigación es el estudio de las técnicas de minería de opiniones, enfocada a obtener información de un personaje público en el Ecuador, determinando indicios de polaridad a su gestión en forma positiva, negativa o neutra, resultado que le permitirá a dicho personaje público tomar decisiones sobre su accionar en función de una imagen de servicio a la comunidad. La extracción de las opiniones en redes sociales y técnicas basadas en Tecnologías del Lenguaje Humano posibilitó la interpretación de los datos polarizados precisando parámetros de relevancia a la opinión resultante enfocados a la toma de decisiones, procesamiento que se adapta a los nuevos formatos de comunicación logrando la interpretación y valoración de la opinión. Las redes sociales fue la plataforma para la captura de textos por medio de un API, que luego del procesamiento del lenguaje natural se obtuvieron resultados de indicios de la popularidad del personaje.

Palabras clave: Procesamiento del lenguaje natural, minería de opiniones, análisis de sentimientos, tecnologías del lenguaje humano, clasificación de opiniones.

Abstract- The present investigation is the study of opinion mining techniques, focused on obtaining information from a public figure in Ecuador, determining signs of polarity for your management in a positive, negative or neutral way, a result that will allow said character public to make decisions about their actions based on an image of service to the community. The extraction of opinions in social networks and techniques based on Human Language Technologies enabled the interpretation of polarized data by specifying parameters of relevance to the resulting opinion focused on decision making, processing that adapts to the new communication formats achieving the interpretation and assessment of opinion. Social networks was the platform for the capture of texts by means of an API, which after the processing of the natural language obtained results of indications of the popularity of the character.

Index Terms: Natural language processing, opinion mining, sentiment analysis, human language technologies, rating of opinions

Article history:

Received 18 September 2018

Accepted 24 September 2018

El autor pertenece a la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador, Ciudadela Universitaria Av. América, Quito, Ecuador. (e-mail: bherrera@uce.edu.ec)

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la red social es la plataforma Web 2.0 para que los usuarios expresen sus opiniones, puntos de vista en forma inmediata con una participación frecuente usando un lenguaje informal, identifico la necesidad de procesar estos párrafos,

oraciones y palabras precisando grados de relevancia a la informalidad, al definir polaridad positiva, neutra o negativa, usando las Tecnologías del Lenguaje Humano.

Este estudio se enfoca a la comprensión de las expresiones subjetivas y el lenguaje informal usado por el Ecuatoriano al opinar sobre un personaje público a su accionar de servicio a la comunidad, donde las actuales tecnologías de lenguaje humano no son directamente aplicables y es necesario incorporar métodos y herramientas para el procesamiento del lenguaje natural por medio de la experimentación de diferentes técnicas y sistemas genéricos de análisis de sentimientos que extraigan primero la fuente de información para luego dar un tratamiento con métodos que determinen la polaridad de la opinión.

El objetivo es la mejora de los recursos, técnicas y herramientas que modelan el lenguaje subjetivo e informal que genera la red social Twitter, con el tratamiento del lenguaje emocional en un entorno de subsistemas inteligentes de procesamiento para la recuperación, tratamiento, comprensión y descubrimiento de la información apto para la toma de decisiones.

II. BASES CONCEPTUALES

Twitter, es una aplicación web gratuita de microblogging que recibe un estimado de 313 millones de visitas al mes, que reúne las ventajas de los blogs, las redes sociales y la mensajería instantánea, esta nueva forma de comunicación permite a sus usuarios estar en contacto en tiempo real con personas de su interés a través de mensajes breves de texto a los que se denominan Tweets, por medio de una sencilla pregunta: ¿Qué estás haciendo? Los usuarios envían y reciben Tweets de otros usuarios a través de breves mensajes que no deben superar los 140 caracteres, vía web, teléfono móvil, mensajería instantánea o a través del correo electrónico; e incluso desde terceras aplicaciones.

Una API de Twitter (siglas en inglés “Application Programming Interface”), es un conjunto de reglas y especificaciones que las aplicaciones pueden seguir para comunicarse entre ellas, sirviendo de interfaz entre programas diferentes de la misma manera que la interfaz de usuario facilita

la interacción humano-software. Twitter tiene tres tipos de APIs: REST API, Search API y Streaming API:

REST API, ofrece a los desarrolladores el acceso al core de los datos de Twitter. Todas las operaciones que se pueden hacer vía web son posibles realizarlas desde el API, soporta los formatos: xml, json, rss, atom.

Search API, suministra los tweets con una profundidad en el tiempo de 7 días que se ajustan a la consulta demandada. Es posible filtrar por, cliente utilizando, lenguaje y localización, no requiere autenticación y los tweets se obtienen en formato json o atom.

Streaming API, establece una conexión permanente por usuario con los servidores de Twitter y mediante una petición http se recibe un flujo continuo de tweets en formato json.

Con Search API y en el REST API existe una limitación de 150 peticiones a la hora por usuario o por IP si la llamada no estuvo autenticada.

El análisis de sentimientos, de textos en las redes sociales es el proceso que determina el tono emocional que hay detrás de una palabra determinada, si una frase contiene una opinión positiva, neutra, o negativa sobre un producto, marca, institución, organización, empresa, evento o persona, el objetivo es extraer aquellos términos semánticos que expresen un sentimiento en particular para conocer la opinión, las actitudes y las expectativas sobre un tema en concreto así como para analizar el comportamiento de los usuarios ante algún mensaje y, por tanto, determinar su impacto o poder anticipar su reacción.

La determinación de la polaridad, consistente en determinar cuándo una opinión es positiva, negativa o neutra con respecto a la entidad a la cual se está refiriendo desde dos enfoques diferentes dependiendo del tipo de método que se utiliza, como son:

- Método de clasificación supervisada: Los rasgos extraídos del texto y el método de aprendizaje determinan cuando este pertenece a la clase positiva o negativa.
- Método de clasificación no supervisada (clustering): Tienen en cuenta la presencia de palabras con orientaciones conocidas que son obtenidas de diccionarios o corpus como, por ejemplo, las palabras excelente o alegre, que son representativas de expresiones polares positivas.

Existen varias técnicas al momento de estimar un texto y su posible polaridad positiva, negativa o neutra. Al utilizar software en la minería de opiniones se encuentran dos funciones: classify polarity y score.sentiment

- classify polarity, Utiliza un marco probabilístico, tiene sus fundamentos en el Teorema de Bayes para calcular la probabilidad de una clase (positiva, negativa). Es una técnica de clasificación y predicción supervisada, entre sus ventajas está que su implementación es muy fácil y obtiene buenos resultados de clasificación en la mayoría de los casos:

$$p(C|F1; :::; F_n) \quad (1)$$

Donde C representa un valor positivo (+) o negativo (-) y F1; F2; :::; F_n factores que representa las palabras de un tweet, donde se busca establecer la probabilidad a priori de que un tweet sea positivo o negativo.

- Score.sentiment, es una función muy simple de predicción no supervisada que asigna una puntuación simplemente contando el número de ocurrencias de positivos y negativos en un tweet comparando con un diccionario de palabras conocido como corpus.

$$\text{score} = \text{sum}(\text{PalabrasPositivas}) - \text{sum}(\text{PalabrasNegativas}) \quad (2)$$

El éxito de esta función es tener la mayor cantidad de palabras positivas y negativas, existen algunos diccionarios ya cargados con estas palabras uno de ellos es MPQA, LIWC.

III. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar es SEMMA creada por SAS Institute, que fue propuesta especialmente para trabajar con el software SAS Enterprise Miner. Si bien en la comunidad científica se conoce a SEMMA como una metodología, en el sitio de la empresa SAS se aclara que este no es el objetivo de la misma, sino más bien la propuesta de una organización lógica de las tareas más importantes del proceso de minería de datos. SEMMA establece un conjunto de cinco fases para llevar a cabo el proceso de minería:

Sample (Muestreo), Explore (Exploración), Modify (Modificación), Model (Modelado) y Assess (Evaluación).

Para el esquema general al detectar la polaridad de opiniones, se debe tomar en cuenta las palabras considerando su sentido correcto en un contexto determinado:

- Identificar Tokens: En esta primera etapa se realiza un pre-procesamiento del texto de las opiniones y devuelve los términos que aportan información útil, o definido como limpieza de los datos como por ejemplo duplicados generados por trolls
- Desambiguar lexicalmente cada token: En la segunda etapa se parte de cada término que aporta información útil, este le da forma, lematiza y desambiguan lexicalmente.
- Obtener todas las acepciones de cada palabra: Esta etapa parte del listado de términos lematizados y desambiguados y devuelve todas las acepciones del término en el idioma en que se esté realizando el análisis.
- Clasificar cada token en positivo y negativo: Una vez obtenidas todas las acepciones de cada término, en esta etapa se propone determinar la polaridad del término de acuerdo a los algoritmos que se empleen, finalmente la polaridad de la opinión se determina por el número de palabras positivas y negativas que contiene.
- Evaluar la opinión: Si el número de palabras positivas que contiene una frase es mayor se considera la frase como positiva y en caso contrario es negativa.

Los índices de relevancia identificados en twitter son:

- Ratio seguidores/seguidos: Los usuarios que tienen un ratio de seguidores/seguidos cercano al 1 suelen contar

con el efecto followback: muchas cuentas les siguen para ganar seguidores fácilmente. Para encontrar su relevancia usaremos una métrica basándonos en el ratio de seguidores/seguidos, pero esta será solo una parte, la parte fundamental para encontrar la relevancia se encuentra en el número de retweets que ha tenido el tweet asignándole



Figura 1. Regla de JMP para limpieza de datos

un factor de multiplicidad de 6.5 al valor original, así mismo al campo favoritos que indica cuantas veces el tweet ha sido marcado como favorito, se le asignó un factor de multiplicidad de 3.5.

- Retweets/nº seguidores: Los retweets son un indicador universal de que lo que dices es interesante o digno de atención. Cuantos más retweets tengas, más interesante o relevante es lo que dices o quien eres. El número de tweets es un factor importante, ya que no es lo mismo conseguir 100 retweets con un solo tweet que hacerlo a lo largo de un mes con 300.

El software para la extracción de datos utilizada es #TAGS, una aplicación que funciona con Google Docs, que permite entre otras cosas conocer los tweets y las conversaciones que ha tenido un usuario determinado ofreciendo características adicionales del tweet como ubicación geográfica, id usuario, seguidores, favorito, retweets, etc.

En el estudio realizado aplicando la metodología indicada anteriormente, el personaje público obtuvo 71.845 tweets en el periodo.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En estudio realizado de 71.845 tweets usando el software de JMP de SAS se aplicó la limpieza a los datos, eliminando links en el texto, tweets vacíos, duplicados aplicando la fórmula de la Figura N°1

La polaridad se ensayó con la siguiente definición de un corpus básico de polaridad en la Tabla I.

Se determina si es positivo con el valor de 1, neutro con el valor de 0 y negativo con el valor de -1.

Las siguientes son las métricas utilizadas para el estudio:

Número de seguidores, A esta métrica la hemos definido de tal manera que si nuestro personaje público tiene más de 200 seguidores en cada uno de sus tweets es aceptado por parte de los twitteros en la red social.



Figura 2. Regla de JMP de Número de seguidores

Aceptabilidad, esta métrica nos da a conocer que tan aceptado es el mensaje compartido por nuestro personaje por los twitteros en la red social.

TABLA I. Corpus básico de polaridad

No.	Positivo	Negativo
1	Mejor	Ratas
2	Felicitaciones	Ladrón
3	Felicidades	Mentira
4	Compañeros	Malo
5	Bien	Peor
6	Bienvenido	Rechazo
7	Confianza	Nunca
8	Confiable	Vago
9	Respaldo	Lame botas
10	Bueno	Tirano
11	Solidario	Corrupto
12	Hermoso	Borrego
13	Lindo	Chavista
14	Éxito	Traición
15	Ético	Traidor
16	Aprobado	Inepto
17	Adelante	Decepción
18	Ganador	Perdedor

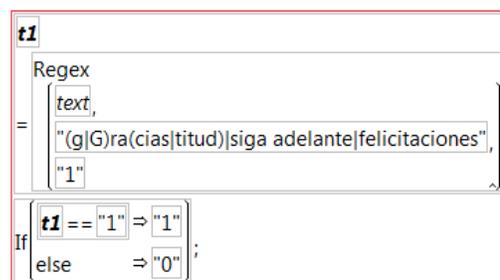


Figura 3. Regla de JMP de Aceptabilidad

Ratio de iteraciones /fans, esta fórmula nos permite determinar cuan relevante es una cuenta en relación al número de fans.

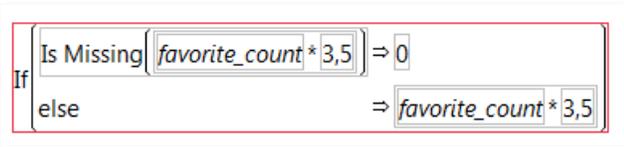


Figura 4. Regla de JMP de Valoración de favoritos

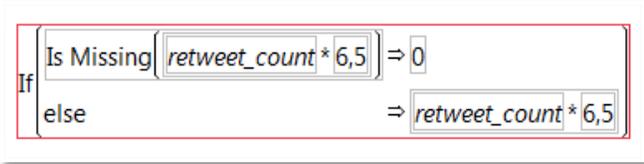


Figura 5. Regla de JMP de Valoración de retweets

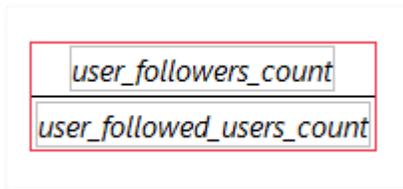


Figura 6. Regla de JMP de Ratio seguidores/seguídos

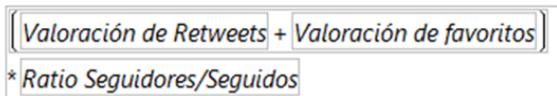


Figura 7. Criterio de relevancia y resultados

En lo referente a la polaridad del ejercicio se puede identificar que:

- 3% Negativo
- 92% Neutro
- 4% Positivo

Las opiniones sobre el personaje público son en su mayoría neutras, definiendo que su accionar tampoco es negativo pero que tampoco da mucho que celebrar con opiniones positivas.

Al aplicar el score.sentiment, que es la función de predicción no supervisada se obtiene una puntuación positiva en los tweets, esto es comparando con un diccionario de palabras corpus.

Al establecer las métricas de relevancia a las polaridades positiva y neutral, se puede identificar lo siguiente:

- 14% Nada relevante
- 84% Poco relevante
- 0% Algo relevante
- 2% Normalmente relevante

Por medio del conteo de la métrica de relevancia, la información del cuadro indica que las opiniones sobre el personaje público fueron de poca relevancia, por los bajos niveles de retweets, y de poca marcación en favoritos.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Existen retos en el procesamiento del lenguaje natural que deben ser resueltos en la detección automática de la polaridad de un texto, esto es el corpus en español que

entienda el léxico ecuatoriano o latinoamericano, este trabajo de investigación lo detecta e identifica una línea de estudio que puede ser trabajada en la comunidad de investigadores.

Valoración de favoritos	Valoración de Retweets	Ratio Seguidores/Seguidos	Relevancia
0	0	0,952681388	0
0	0	0,952681388	0
0	6,5	11,757731959	76,425257732
84	149,5	124,77484183	29134,9255568
0	3425,5	0,5596868885	1917,2074364
24,5	39	19,728401192	1252,7534757
0	0	111,77002967	0
28	208	17,157360406	4049,1370558
0	0	17,756722151	0
0	26	17,698209719	460,15345269
0	0	13,534482759	0
73,5	143	124,77484183	27013,753256
0	0	6,8653846154	0
0	962	0,023255814	22,372093023
0	6,5	2,1091674765	13,709588597
3,5	13	2,1091674765	34,801263362
0	253,5	2,1080467229	534,38984426
0	6,5	2,1080467229	13,702303699
0	0	2,1102106969	0
24,5	52	4,6952736318	359,18843284
0	97,5	4,6514143095	453,51289517
0	188,5	4,6514143095	876,79159734
38,5	84,5	4,6952736318	577,51865672
0	97,5	4,6514143095	453,51289517
7	13	4,6514143095	93,02828619
35	58,5	4,6952736318	439,00808458
0	110,5	4,6514143095	513,9812812
0	0	4,6514143095	0
10,5	39	2,1091674765	104,40379009
0	182	2,1080467229	383,66450357
0	260	2,1080467229	548,00314706

Figura 8. Regla de JMP de Relevancia y resultados

- La definición de polaridad de sentimientos dentro de este estudio de opinión de un personaje público determina indicios o tendencias al tipo de impacto, no tiene margen de error como una encuesta tradicional pero si provee un resultado que ayuda a reforzar la toma de decisiones.
- La contribución del usuario en el lenguaje informal es determinante en una temporalidad cual puede variar en opinión, dichos textos deben ser preprocesados para obtener una data que aporte a un resultado relevante.
- Los niveles de re-tweets y marcación en favoritos determinan la relevancia de una opinión, métrica utilizada para el estudio de una opinión en twitter, pueden ser también identificadas otras como ubicación geográfica, Número de seguidores, etc.
- El trabajo futuro es trabajar en otros dominios como el educativo que permitiría identificar el manejo del contenido por el Docente, el seguimiento a las unidades o temas planteados y la relación interpersonal Docente Estudiante.

VI. REFERENCIAS

- [1] Borrás-Morell, Jose Enrique, "Data Mining for Pulsing the Emotion on the Web" Collection: Methods in Molecular Biology Volume: 1246 pp: 123-130, 2015.
- [2] Chen, Xin; Vorvoreanu, Mihaela; Madhavan, Krishna, "Mining Social Media Data for Understanding Students' Learning Experiences" IEEE TRANSACTIONS ON LEARNING TECHNOLOGIES Volume: 7 Number: 3 pp: 246-259, 2014.
- [3] Khan, Farhan Hassan; Bashir, Saba; Qamar, Usman, "TOM: Twitter opinion mining framework using hybrid classification scheme" DECISION SUPPORT SYSTEMS Volume: 57 pp: 245-257, 2014.
- [4] Akaichi, Jalel; Dhouioui, Zeineb; Lopez-Huertas Perez, Maria Jose "Text Mining Facebook Status Updates for Sentiment Classification" Conference: 17th International Conference System Theory, Control and Computing (ICSTCC) Ubication: Sinaia, ROMANIA pp: 640-645, 2013.
- [5] Colace, F.; De Santo, M.; Greco, L, "SAFE: A Sentiment Analysis Framework for E-Learning" International Journal of Emerging Technologies in Learning Volume: 9 Number: 6 pp: 37-41, 2014.
- [6] Colace, Francesco; Casaburi, Luca; De Santo, Massimo, "Sentiment detection in social networks and in collaborative learning environments" COMPUTERS IN HUMAN BEHAVIOR Volume: 51 Number especial: SI pp: 1061-1067, 2015.
- [7] Baldominos Gomez, Alejandro; Luis Minguenza, Nerea; Cristina Garcia del Pozo, Ma, "OpinAIS: An Artificial Immune System-based Framework for Opinion Mining" INTERNATIONAL JOURNAL OF INTERACTIVE MULTIMEDIA AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE Volume: 3 Number: 3 pp: 25-34, 2015.

Boris Herrera Flores, estudió su grado en la Universidad Central del Ecuador obteniendo el título de Ingeniero en Informática en la Universidad Central del Ecuador, después realizó los estudios de Maestría en la misma Universidad graduándose como Magister en Gestión Informática Empresarial. Actualmente se desempeña como Docente en la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática, Carrera de Ingeniería Informática y cursa el Doctorado de Informática en la Universidad de Alicante



Defining architectures for recommended systems for medical treatment. A Systematic Literature Review

Cristina Jimenez, Ivan Carrera

Abstract—This paper presents a Systematic Literature Review (SLR) related to recommender system for medical treatment, as well as analyze main elements that may provide flexible, accurate, and comprehensive recommendations. To do so, a SLR research methodology obey. As a result, 12 intelligent recommender systems related to prescribing medication were classed depending to specific criteria. We assessed and analyze these medicine recommender systems and enumerate the challenges. After studying selected papers, our study concentrated on two research questions concerning the availability of medicine recommender systems for physicians and the features these systems should have. Further research is encouraged in order to build an intelligent recommender system based on the features analyzed in this work.

Keywords: Recommender System, Machine Learning, Assisted Medicine.

I. INTRODUCTION

Health is a primordial necessity of people [1], and, as technology advances, more medical information is required to be available for patients and doctors, improving diagnosis [2]. However, medical errors really kill many people a year [3]. This situation can be caused by some issues as: expert diagnosis depends by physician experience, and many health centers don't have medical experts for critical diseases, and it can be hard to avoid mistakes [3]. CDC reports from 2.6 million deaths every year in the U.S., 715,000 occur in hospitals, therefore, if estimates are correct, 35% of all hospital deaths are due to medical errors. Also, reports from the US state that more people die in a given year as a result of medical errors than from motor vehicle accidents, breast cancer, and AIDS [4]. See Figure 1.

On the other hand, advances in computing have allowed us to support medical systems from basic systems to carry medical records, medical lab examining, manage appointments, deal with insurance companies, and so on. During recent years AI techniques have achieved significant progress in healthcare, we believe that the physicians will not be replaced by machines in the closely future, but AI can certainly support doctors to get better decisions. The massive quantities of health care data and rapid development of big amounts of data analytic

Article history:

Received 19 September 2018

Accepted 24 September 2018

Authors are affiliated to Departamento de Informática y Ciencias de la Computación of Facultad de Ingeniería en Sistemas and Facultad de Ingeniería en Sistemas, respectively, of Escuela Politécnica Nacional(maria.jimenez01, ivan.carrera@epn.edu.ec)

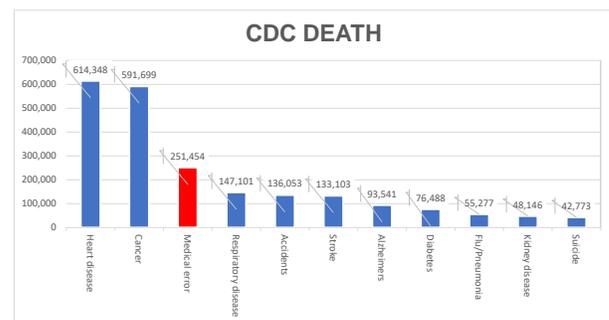


Figure 1. Medical errors are the number three of the death in US - Centers for Disease Control and Prevention CDC

methods has made possible the recent successful applications of AI in healthcare. Machine learning is the base of many information retrieval applications, those effect our day to day lives directly or indirectly. One of the commonly used application of machine learning algorithms is Recommender Systems, to making decisions fully autonomously [5]. Machine Learning deals with the development, analysis and study of algorithms that can automatically detect patterns from data and use it to aid and perform decision making [6].

Recommender systems are transformed into support systems necessary to ensure that the decisions are supported by the previous analyses, based on the experience that is stored in the system. Normally, recommendation techniques can be of various types: collaborative filtering (CF), content based (CB), knowledge-based (KB), and hybrid recommendation technologies [7]. Each recommendation technology has its advantages and limitations.

Our goal with this paper is to review the existing medicine recommender systems and to describe their approaches and features. The aims and offerings of this article are followings: to offer a review of the actual challenges related to medicine recommender systems; supply a systematic and analytic review of the actual methods for medicine recommender system and the way in which these have been applied; to investigate future challenges for medicine recommender system and the roll that it can play.

II. RECOMMENDER SYSTEMS

A. Approaches

Collaborative filtering. - One approach that has a wide application is collaborative filtering. This method uses a large amount information on user’s behaviors, activities or preferences and estimating what will users like based on their similarity to other users. The recommendations are generated based on relationships between users and elements. These recommendations use neighborhood (e.g. An algorithm generalized by Amazon.com’s recommender system is item-to-item collaborative filtering ;people who buy x also buy y; it is one of the most famous example of collaborative filtering).

Content-Based filtering. - Another approach of recommender systems is content-based filtering. Content-Based filtering is centered on a description of the item and a profile of the user’s preferences. This method tries to recommend items that are similar to those that a user liked in the past. In specific, several chosen items are compared with previously classified ones by the user and the best matching items are recommended. This approach has its origin in information retrieval and information filtering research (e.g. Pandora Radio is a good example of a content-based recommender system that plays music with characteristics like the song provided by the user as an initial data). Demographic approach is considered like a variant of content-based method, this algorithm uses demographic information instead of element’s properties.

Knowledge based recommender. - This method generates recommendations of products based on predictions about needs and preferences of the users (e.g. recommend natural medicine for treatment of liver diseases). Utility based method is known like a variant of knowledge based system, in this approach the users are responsible for defining the desired features.

Hybrid recommender. - Recent research has shown that a hybrid recommender method is more effective in some cases, this method combines two or more approaches described in this section. [8] determines some hybridization approaches, for example, mixed, weighted, or cascade these methods allow the hybrid recommender system with more flexibility in the recommendation process

B. Strengths and weaknesses of recommender systems techniques

All recommendation techniques have their specific strengths and weaknesses, as addressed in [3], [7], and [9], and summarized in Table I.

III. METHODOLOGY

Based on the methodology of systematic reviews by Barbara Kitchenham [10], a scheme was developed for the review, selection and extraction of information, as follows:

- a. Research question.
- b. Keywords.
- c. Review method.
 - Sources and search strategies.
 - Search strings.

- Studies selection criteria.
 - Information Extraction.
- d.Studies included and excluded.

Technique	Strengths	Weaknesses
Collaborative	Offering recommendations that someone never searched before. Sharing of knowledge with users that have similar preferences.	Cold start, scalability, sparsity
Content-based	This method generates recommendations with classic retrieval process and machine learning approach.	This method generates overspecialized recommendations
Knowledge-based	Recommending products in complex domain. Sensitive to short-term variance.	Suggestion ability is static
Hybrid	This approach generates higher performance recommendations. Avoid limitations through combining two or more different approaches.	Complexity implementation and Need external information that usually not available

Table I
STRENGTHS AND WEAKNESSES OF RECOMMENDER SYSTEMS TECHNIQUES

A. Research question

The scope of this work was addressed on articles related to intelligent tools for recommender systems. The research questions are:

- RQ1: Which of the recommender systems, that can be adapted for treatments, is available to doctors?
- RQ2: What features should a medicine recommender system for physicians have?

B. Keywords

A review of the previous literature was carried out, consisting on analyzing a number of documents related to the subject that facilitate identifying the keywords obtained from the titles, summaries and introduction. Table II shows the list of words obtained through the Keywords.

Code	Title	keywords
R01	An Intelligent Medicine Recommender System Framework	Recommendation system framework, Intelligent Medicine, decision tree
R02	A recommendation system based on domain ontology and SWRL for anti-diabetic drugs selection	Ontology, OWL Web Ontology Language, Recommendation system
R03	A Recommendation System Using Machine Learning	Recommendation system, machine learning
R04	A Migraine Drug Recommendation System Based on Neo4J	drug recommendation system; migraine; medication recommendation; graph database

Table II
PRELIMINARY REVIEW AND TERMS

C. Review method

a) Sources and search strategies:

The following research databases were used for search: ACM Digital Library, IEEEExplore and Web of science.

b) Search strings: Based on the research question, keywords were defined for the searches: Recommendation systems, medicine recommender systems, efficient suggestion tool, decision support, medication errors. To generate the search string, the logical operators “OR” and “AND” were used, leaving: (medicine OR drug) AND (recommendation OR recommender) AND (systems)

Study Inclusion Criteria: The search was executed with the following criteria:

- The publications date was considered from 2015 onwards.
- Research results are only in the area of Sciences and Computing.
- The scientific productions are primary studies (conference articles, journal articles).
- The search for default will be in the English language due its scientific relevance.
- The studies must have information relevant to the research question.

Study Exclusion Criteria: The articles with these characteristics were deleted: 1. Not available. 2. The duplicates. 3. The incomplete. 4. Who do not answer the research question.

c) Studies selection criteria:

Once the results were obtained, the selection of primary studies are based on considering the following:

- There is current information of medicine recommender systems or medicine support decision tool for development frameworks in the summary.
- There is relevant information for the review in the conclusion or introduction.

d) Information Extraction:

Selection criteria for studies establish the pattern of extraction of relevant information for this work. For each selected article, at least one of the following elements will be synthesized:

- Proposals or models for efficient medicine recommender systems or support decision tool.
- Results.
- Relevant conclusions.

D. Studies included and excluded

In the first extraction process, 178 cases were obtained. Then, another selection procedure was carried out in which 12 relevant articles were obtained. Table III shows their distribution:

Flowchart describing the selection included and excluded papers, see Figure 2

IV. RELATED WORK

This research is situated in recommendation of treatments and the supply of medicine, to support the physician and improve the medical prescription process. Based on this, the following related articles were found:

Source	Results	(+)-Relevant	No Relevant	Repeated	Incomplete	Relevant
IEEE	82	15	53	0	9	5
ACM	19	5	10	0	0	4
WebOfScience	77	20	50	4	0	3
Total	178	40	113	4	9	12

Table III
INCLUDED AND EXCLUDED PAPERS

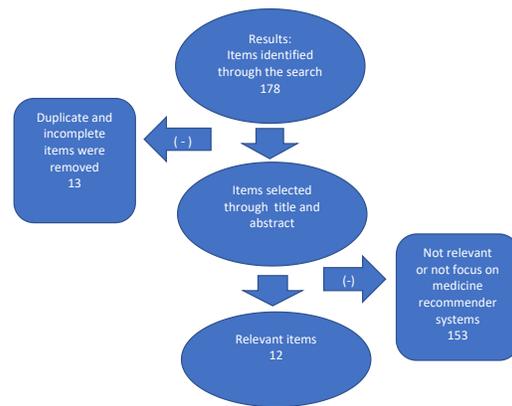


Figure 2. Flow chart the process used to select included and excluded papers

[3] is based on a hybrid approach. A design of a medicine recommender system framework is proposed. A mistaken-check mechanism is proposed for ensure the safety and quality of their recommendations.

[11] This medication recommender system uses semantic web. There is a great satisfaction level of user.

[4] Is a design of an intelligent mobile agent architecture for medicine prescription. Analytic Hierarchy Process AHP and Case base reasoning CBR strategies are used in this system. Follow an evaluation and validation method for this system by the simulation of medical scenarios.

[12] This system provides personalized dosage adjustment, optimizes Therapeutic Drug Monitoring TDM, and process large numbers of requests, provides an interface with other clinical applications.

[13] Presents a medicine recommender system using a graph database. Its approach is based on a collaborative filtering. Patients are evaluated according to their similarity of features. The evaluation showed that the algorithm gives recommendations with a good accuracy.

Code	Ref	Kernel recommender system
SR1	[3]	Hybrid method, SVM support vector machine, ID3 decision tree, BP neural network algorithms
SR2	[11]	Ontology for medication classification and KB
SR3	[14]	Collaborative filtering
SR4	[15]	Sentiment analysis, topic modeling - hybrid matrix factorization
SR5	[4]	CBR Cased-based reasoning, AHP Analytic Hierarchy Process
SR6	[16]	Collaborative filtering, clustering
SR7	[17]	Similarity matrices, collaborative filtering
SR8	[12]	Decision making in medical domain.
SR9	[18]	Artificial neural network and case-based reasoning
SR10	[19]	Ontology model
SR11	[13]	Collaborative filtering algorithm
SR12	[20]	Fuzzy recommender algorithm

Table IV

KERNEL RECOMMENDER SYSTEM

Note: The codes used for recommender systems, will use throughout the document

V. RESULTS

Among the selected studies, we found relevant evidence to satisfactorily answer the research question.

RQ1: Which of the recommender systems, that can be adaptable for treatments is available to doctors?

Among the selected studies, we found relevant evidence to satisfactorily answer the research question. RQ1: Which of the recommender system, that can be adaptable for treatments is available to doctors?

Table IV presents existing models for a medicine recommender system. Information sources for the medicine recommender systems are shown in TableV.

Code	Information extraction
SR1	Medicine database and expert knowledge database, Open data set
SR2	Medication's technical data is limited sole source obtained from the Government Pharmaceutical Organization (GPO), MySql database
SR3	On line drug store
SR4	Experimental data is obtained from platform Yelp, it is a crowd sourced review website
SR5	Medicine database, patient database
SR6	Genomic Data, Drug bank, chembl
SR7	PubChem database, 536 approved drugs on 578 diseases are collected from the National Drug File-Reference Terminology
SR8	Database clinical HL7.
SR9	Electronic Medical Record database (EMR)
SR10	Knowledge base provided by a hospital specialist in Taichung's Department of Health, Database of the American Association of Clinical Endocrinologists Medical Guidelines for Clinical Practice for the Management of Diabetes Mellitus (AACEMG)
SR11	Graph database NEO4J, simulated medical data for 100,000 patients
SR12	Righ Heart Caterization (RHC) large dataset, 5735 critical illness

Table V

INFORMATION EXTRACTION FOR THE MEDICINE RECOMMENDER SYSTEMS

Medicine area includes uncommon recommender technologies, and this review focuses on the design of the medicine recommender system. Commonly used recommendation techniques include collaborative filtering (CF), content- based

(CB), knowledge-based (KB) techniques and hybrid recommendation technologies. Each recommendation technology has advantages and limitations, see Table I and Figure 3.

In the reviewed studies, it has been shown that the recommendation systems are more effective when performing hybrid combinations [3] [21]. Hybrid recommender systems can be quite successful. The question of interest is to understand what types of hybrids are likely to be successful in general or failing such a general result, see Figure 4 and 5. For this reason, the recommender systems need to be compared through their implementation of frameworks, efficiency and precision results, so the best strategy is selected.

Other effective technique to have good accuracy in recommender system is to use the model domain based on the ontology of the product [21] [23], see Figure 6. Ontological modeling is an inherent process for building an ontology application regardless of the application domain. After completing a domain analysis, key concepts and their relationships are identified in order to best portray the domain. The product ontology treats products, classification scheme, attributes, and units of measure as key concepts.

6 shows the relation between the recommender system type and the domain model. The most popular combination of medicine recommender systems is hybrid with an ontological domain. This mix facilitates the recommendation of multiple items, since it is based on the more complete type and the more flexible domain model.

RQ2: What features should a medicine recommender system for physicians have?

In this review some different approaches of medicine recommender systems were found. However, it is necessary to integrate the different criteria and determine the main features that are necessary in this type of recommendation systems. It was identified the features of this kind of medicine recommendation system and was classified as follows: **Approach.-** The most used is collaborative filtering see Figure 3. The hybrid approach is also used for its accuracy in the recommendations but its implementation can be complex. Three features are

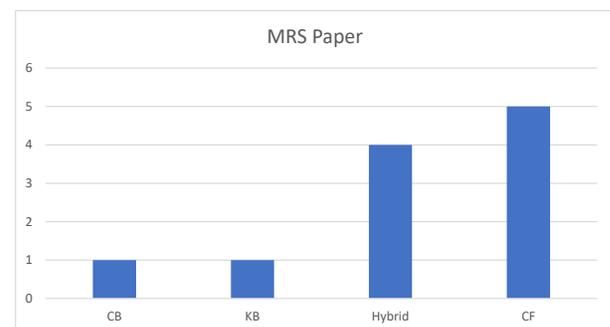


Figure 3. Distribution of medicine recommendation methods

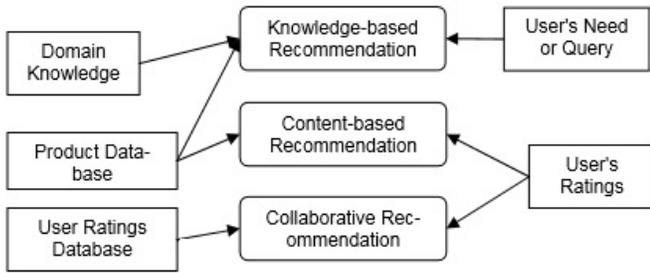


Figure 4. Recommendation techniques and their knowledge sources [22]

determined in the classification by approach: 1. How collaborative is it? and 2. How accurate is it? 3. Another feature that is deduced is the level of complexity. **Algorithm.-** The most used type machine learning algorithm for medicine recommender systems is SVM Support Vector Machine [3] [12] due its high accuracy, efficiency and scalability. Another algorithm used are k-means, decision tree, matrix factorization, fuzzy logic, clustering, neural networks, Bayesian [24]. **Model Domain.-** The most used model domain for medicine recommender systems are database see Figure 6, it is used with collaborative filtering and hybrid approach, it is used to obtain a good coverage.

In the table VI, it shows features of medicine recommender systems found in the selected studies. A reaserch about metrics for the features needs to be done in future Works. In this section it will only be reported if the feature is presented in the paper.

VI. DISCUSSION

After studying the selected papers, an analysis was carried out to check the advantages and limitations of the medicine recommender systems (see Section IV). This analysis focused on the two research questions, i.e., the availability and features of medicine recommender systems for physicians.

From the analysis, an effective alternative can use several approaches generating a hybrid system. This approach offers high accuracy in the recommendations. In general, using recommendation techniques that include collaborative filtering (CF), content-based (CB), knowledge-based (KB) and hybrid recommendation technologies. [3] [15] [18][22]

The main problem of hybrid recommender systems is related to the complexity implementation. This approach com-

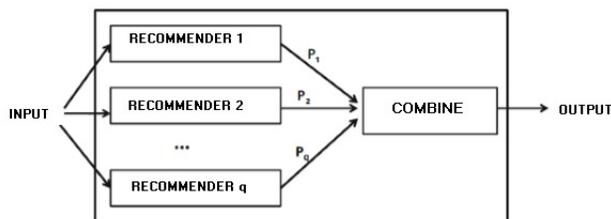


Figure 5. Hybrid recommender system design

Code	Approach	Accuracy	Complexity	Algorithm	Model domain
SR1	Hybrid	High	Medium high	SVM,Neural Network, ID3	Database
SR2	Knowledge	Medium	Low	-	Database
SR3	Collaborative	Medium	Medium	K-means	Database
SR4	Hybrid	Medium	Medium	-	Real Dataset
SR5	-	Medium	Medium	-	Database
SR6	Collaborative	Medium	Medium	Clustering	Database
SR7	Collaborative	High	Medium	Proposed SVM	Database
SR8	-	-	-	-	Database
SR9	Hybrid	High	Medium high	Neural Network	Database
SR10	Knowledge	High	-	-	Database
SR11	Collaborative	Medium	-	ID3	Database
SR12	Collaborative	Medium	-	SVM	Dataset

Table VI
FEATURES OF MEDICINE RECOMMENDER SYSTEMS

binés two or more methods and the information processing is slower the rest of them. But, it frequently suffers if the amount of data to process is high. The hybrid approaches for e-health should use collaborative filtering to obtain a better and more satisfactory personalization in the recommendation. [24][19]

The information reviewed in the articles determining that a recommendation system must contain: database system module, data preparation module, recommendation model module, evaluation module, and data display module. The module related to the recommendation is considered important from these modules. From the information reviewed, it is determined that there are some algorithms for medical recommendations such as SVM, ID3 decision tree and BP neural network, and it is intuited that there are other algorithms that can be used [3]. It will be necessary in a research process additionally to investigate each of these algorithms to determine which is the most appropriate according to the proposal. When it comes to a new application area, a new recommendation framework is necessary to solve these problem On the other hand it is also necessary to put emphasis on the evaluation model to avoid misdiagnosis and eliminate

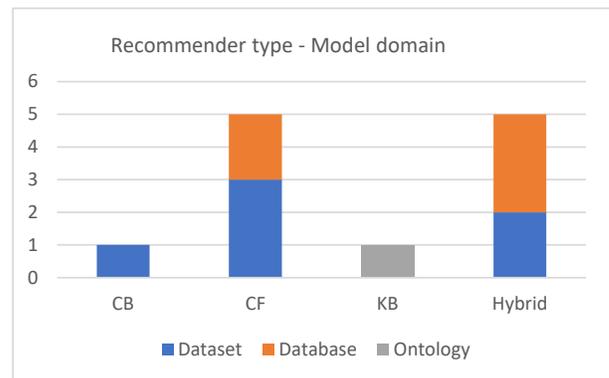


Figure 6. Approach related on kind of recommender and model domain

errors.

It was also found that an important factor could be the preferences of both patient and doctor and, in this sense, it would be important to ask whether the recommendations system should consider the preferences that users have about the use of certain medications. It should be considered the scope; it could be important information to store the previous decisions made by the doctor in similar diseases or include the doctor criteria in the selection of a drug especially in relation to the preferences of a pharmaceutical house [15] [4]. This personalization can support a best relationship between the doctor and the system and therefore in the use of it.

An important decision to make is how the system reaches the doctor. Due technology advancement, many articles talk about use of mobile systems, but this support carried out by the system should be evaluated [4] [25]. First, it would be thought that a system that can be visualized in any device. For our proposal, the display mode is not fundamental.

VII. CONCLUSION AND FUTURE WORKS

In the present review were found 178 papers and through a systematic analysis process, 12 articles were obtained and their comparison was made.

From the comparison made it was possible to identify strengths and weaknesses, this process was carried out to determine if there are a medicine recommender valid for physician that provide a supply of medicine and then research their features.

The recommender systems analyzed confirm that a system for physician should use a high level of accuracy, in this case hybrids approach are recommended, although the complexity is high. This hybrid approach should allow collaborating filtering for obtain user satisfaction and better personalization.

The use of machine learning algorithms like SVM support vector machine will allow high accuracy, efficiency and scalability.

Considering the domain model, it is interesting to review that a database approach is adopted, see Figure 6, due the large amount of information that is required and the accuracy that must be defined.

For the future work it is important to make new studies related to metrics to measure and categorize these recommender systems, to define a metric oriented to accuracy, complexity, coverage, robustness. Without forgetting criteria to evaluate a recommender system to define in [24].

REFERENCES

- [1] S. S.-L. Tan and N. Goonawardene, "Internet health information seeking and the patient-physician relationship: a systematic review," *Journal of medical Internet research*, vol. 19, no. 1, 2017.
- [2] R. Sethuram and A. Weerakkody, "Health information on the internet," *Journal of Obstetrics and gynaecology*, vol. 30, no. 2, pp. 119–121, 2010.
- [3] Y. Bao and X. Jiang, "An intelligent medicine recommender system framework," in *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2016 IEEE 11th Conference on*. IEEE, 2016, pp. 1383–1388.
- [4] K. Miller and G. Mansingh, "Optipres: a distributed mobile agent decision support system for optimal patient drug prescription," *Information Systems Frontiers*, vol. 19, no. 1, pp. 129–148, 2017.
- [5] I. Nunes and D. Jannach, "A systematic review and taxonomy of explanations in decision support and recommender systems," *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 27, no. 3-5, pp. 393–444, 2017.
- [6] S. K. Thangavel, P. D. Bkaratki, and A. Sankar, "Student placement analyzer: A recommendation system using machine learning," in *Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), 2017 4th International Conference on*. IEEE, 2017, pp. 1–5.
- [7] F. Ricci, L. Rokach, and B. Shapira, "Recommender systems: introduction and challenges," in *Recommender systems handbook*. Springer, 2015, pp. 1–34.
- [8] R. Burke, "Hybrid recommender systems: Survey and experiments," *User modeling and user-adapted interaction*, vol. 12, no. 4, pp. 331–370, 2002.
- [9] F. Alyari and N. Jafari Navimipour, "Recommender systems: A systematic review of the state of the art literature and suggestions for future research," *Kybernetes*, vol. 47, no. 5, pp. 985–1017, 2018.
- [10] B. Kitchenham, "Procedures for performing systematic reviews," *Keele, UK, Keele University*, vol. 33, no. 2004, pp. 1–26, 2004.
- [11] B. Yoosooka and S. Chomchaiya, "Medication recommender system," in *Science and Technology (TICST), 2015 International Conference on*. IEEE, 2015, pp. 313–317.
- [12] A. Dubovitskaya, T. Buclin, M. Schumacher, K. Aberer, and Y. Thoma, "Tucuxi: An intelligent system for personalized medicine from individualization of treatments to research databases and back," in *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Bioinformatics, Computational Biology, and Health Informatics*. ACM, 2017, pp. 223–232.
- [13] B. Stark, C. Knahl, M. Aydin, M. Samarah, and K. O. Elish, "Better-choice: A migraine drug recommendation system based on neo4j," in *Computational Intelligence and Applications (ICCIA), 2017 2nd IEEE International Conference on*. IEEE, 2017, pp. 382–386.
- [14] Y. Zhang, D. Zhang, M. M. Hassan, A. Alamri, and L. Peng, "Cadre: Cloud-assisted drug recommendation service for online pharmacies," *Mobile Networks and Applications*, vol. 20, no. 3, pp. 348–355, 2015.
- [15] Y. Zhang, M. Chen, D. Huang, D. Wu, and Y. Li, "iDoctor: Personalized and professionalized medical recommendations based on hybrid matrix factorization," *Future Generation Computer Systems*, vol. 66, pp. 30–35, 2017.
- [16] A. Wang, H. Lim, S.-Y. Cheng, and L. Xie, "Antenna, a multi-rank, multi-layered recommender system for inferring reliable drug-gene-disease associations: Repurposing diazoxide as a targeted anticancer therapy," *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 2018.
- [17] J. Zhang, C. Li, Y. Lin, Y. Shao, and S. Li, "Computational drug repositioning using collaborative filtering via multi-source fusion," *Expert Systems with Applications*, vol. 84, pp. 281–289, 2017.
- [18] Q. Zhang, G. Zhang, J. Lu, and D. Wu, "A framework of hybrid recommender system for personalized clinical prescription," in *Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE), 2015 10th International Conference on*. IEEE, 2015, pp. 189–195.
- [19] R.-C. Chen, Y.-H. Huang, C.-T. Bau, and S.-M. Chen, "A recommendation system based on domain ontology and swrl for anti-diabetic drugs selection," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 4, pp. 3995–4006, 2012.
- [20] N. T. Thong *et al.*, "Intuitionistic fuzzy recommender systems: an effective tool for medical diagnosis," *Knowledge-Based Systems*, vol. 74, pp. 133–150, 2015.
- [21] F. Ali, D. Kwak, P. Khan, S. H. A. Ei-Sappagh, S. R. Islam, D. Park, and K.-S. Kwak, "Merged ontology and svm-based information extraction and recommendation system for social robots," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 12 364–12 379, 2017.
- [22] R. Burke, "Hybrid web recommender systems," in *The adaptive web*. Springer, 2007, pp. 377–408.
- [23] F. F. Tuon, J. Gasparetto, L. C. Wollmann, and T. P. de Moraes, "Mobile health application to assist doctors in antibiotic prescription—an approach for antibiotic stewardship," *The Brazilian Journal of Infectious Diseases*, vol. 21, no. 6, pp. 660–664, 2017.
- [24] H. Yago, J. Clemente, and D. Rodriguez, "Competence-based recommender systems: a systematic literature review," *Behaviour & Information Technology*, pp. 1–20, 2018.
- [25] F. F. Tuon, J. Gasparetto, L. C. Wollmann, and T. P. de Moraes, "Mobile health application to assist doctors in antibiotic prescription—an approach for antibiotic stewardship," *The Brazilian Journal of Infectious Diseases*, vol. 21, no. 6, pp. 660–664, 2017.



María Cristina Jiménez Hernández is a student of Computer Science master's degree of the National Polytechnic School. Her research interests include medicine recommender systems and database pharmacologic. She received her engineering degree in Computer Science from the of the National Polytechnic School, and currently

is doing his Computer Science master's degree.



Ivan Marcelo Carrera Izurieta is an assistant professor at the Department of Computer Science and Informatics of the National Polytechnic School. His research interests include Bioinformatics, Medical Informatics, Distributed Systems and Performance Optimization. He received his MSc in Computer Science from the In-

formatics Institute of the Federal University of Rio Grande do Sul, and currently is doing his PhD in the Computer Science Postgraduate Program of University of Porto in Portugal.

Verificación de la emergencia en una arquitectura para sistemas multi-robots (AMEB)

Verification of the emergence in an architecture for multi-robot systems (AMEB)

A. Gil , J. Aguilar, E. Dapena, R. Rivas

Resumen— El presente artículo analiza el comportamiento emergente de un sistema multi-robot gestionado por una arquitectura estructurada en tres capas: la primera brinda soporte local al robot, gestiona sus procesos de actuación, percepción y comunicación, así como su aspecto conductual, el cual considera los aspectos reactivos, cognitivos y sociales del robot. Además, introduce un componente afectivo que influye en su comportamiento y en la forma en que se relaciona con el ambiente y con los otros individuos del sistema, basado en un modelo emocional que toma en cuenta cuatro emociones básicas. La segunda brinda soporte a los procesos colectivos del sistema, basándose en el concepto de coordinación emergente. La última se encarga de la gestión del conocimiento y de los procesos de aprendizaje, tanto a nivel individual como colectivo, en el sistema. En este artículo se definen las métricas para verificar la emergencia en el sistema, mediante la utilización de un método de verificación de comportamientos emergentes basado en Mapas Cognitivos Difusos.

Index Terms— Sistemas emergentes, emociones, control de robots y sistemas multi-robot, Mapas Cognitivos, modelado de robots y sistemas multi-robot, Arquitecturas de control distribuido y descentralizado.

Abstract- This article analyzes the emerging behavior of a multi-robot system managed by an architecture structured in three layers: the first provides local support to the robot, manages its processes of action, perception and communication, as well as its behavioral aspect, which considers the reactive, cognitive and social aspects of the robot. In addition, it introduces an affective component that influences its behavior and the way it relates to the environment and to the other individuals in the system, based on an emotional model that takes into account four

basic emotions. The second provides support to the collective processes of the system, based on the concept of emerging coordination. The latter is responsible for knowledge management and learning processes, both individually and collectively, in the system. In this article the metrics are defined to verify the emergency in the system, by means of the use of a method of verification of emergent behaviors based on Fuzzy Cognitive Maps.

Index Terms- Emergent systems, emotions, control of robots and multi-robot systems, Cognitive maps, robot modeling and multi-robot systems, Distributed and decentralized control architectures.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de arquitecturas para sistemas multi-robots es un campo de investigación de interés [9-18]. Son varios los procesos que se dan en este tipo de sistemas, desde la gestión individual de cada robot, hasta los procesos colectivos que surgen en los mismos. En estos tipos de sistemas, se pueden presentar procesos emergentes que surgen de la interacción entre los robots, por lo que es importante contar con mecanismos que permitan verificar dicho fenómeno, para determinar el comportamiento de sus componentes en la resolución de problemas complejos.

En general, en la literatura hay un importante número de trabajos alrededor de la definición de arquitecturas para el control de robots. Algunas consideran las emociones [9, 10], contextos heterogéneos [15, 16, 18], y muy pocas soportan sus procesos emergentes y/o autoorganizados [12, 13, 14]. Ahora bien, en ninguno de los trabajos previos se establecen mecanismos para verificar la emergencia en un sistema multi-robot.

En este trabajo, se definen un conjunto de métricas, que permiten determinar la emergencia en un sistema multi-robot, gestionado por una arquitectura que tiene como objeto brindar

Article history:

Received 12 September 2018

Accepted 08 November 2018

A Gil, pertenece al Laboratorio de Prototipos en la Universidad Nacional Experimental del Táchira y a Tepuy R+D Group. Artificial Intelligence Software Development. Mérida, Venezuela (email: agil@unet.edu.ve)

J. Aguilar pertenece al CEMISID en la Universidad de los Andes y a Tepuy R+D Group. Artificial Intelligence Software Development. Mérida, Venezuela (email: aguilar@ula.ve).

E. Dapena, pertenece a LASDAI en la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela (email: eladio@ula.ve).

R. Rivas, pertenece a LASDAI en la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela (email: rafael@ula.ve).

soporte al sistema en sus dinámicas emergentes. La arquitectura se estructura desde tres ejes principales [1, 2]: lo individual, lo colectivo y el aprendizaje.

En el nivel individual, se gestionan los procesos de percepción, actuación y los comportamientos del robot, así como también, se implementa un componente afectivo. El nivel colectivo, se encarga de los procesos de coordinación del sistema, bajo el enfoque emergente. Finalmente, un tercer nivel, se encarga de la gestión del conocimiento, tanto a nivel individual como colectivo. En general, la arquitectura gestiona los procesos presentes en un sistema multi-robot heterogéneo, compuesto por robots de propósito general, enmarcados en lo que es conocido en la literatura como enjambre de robots [3, 4, 5]. El fin de la arquitectura, es facilitar la emergencia de comportamientos en el grupo de robots.

Con el objeto de validar la aparición de comportamientos emergentes en el enjambre de robots, se definen una serie de conceptos, los cuales se inspiran en [6, 7], donde se proponen un conjunto de conceptos para verificar la emergencia y auto-organización en un sistema dado. A partir de esos conceptos, en este trabajo se presenta un modelo de verificación de comportamientos emergentes para dicha arquitectura, usándolos en un Mapa Cognitivo Difuso desarrollado para tal fin [7, 8].

El artículo está dividido en seis secciones, una sección donde se resumen algunos trabajos previos vinculados a la propuesta; la siguiente sección presenta un resumen del diseño de la arquitectura; luego, se definen las métricas que permiten medir la aparición de la emergencia; la siguiente sección es de experimentación, donde se plantean casos de estudio para mostrar cómo funciona el método de verificación; en seguida, se presenta una sección donde se lleva a cabo una comparación de la arquitectura con otros trabajos; y por último, se presentan las conclusiones de la investigación.

II. TRABAJOS PREVIOS

En trabajos anteriores, se han desarrollado diversas arquitecturas para el control de robots. En los trabajos [9, 10, 11] se presentan diseños de agentes autónomos, donde sus comportamientos son gobernados por emociones básicas y estados emocionales. Las emociones pueden modificar la intensidad de la motivación de un agente en un instante dado, evitando que ejecute alguna acción, o modificando su sistema de percepción, entre otras cosas. Así, según [9, 10] las emociones influyen en el comportamiento de un agente y en cómo actúa ante una misma situación, generando comportamientos emergentes en él, ya que no se puede predecir cómo será su actuación ante las dinámicas del sistema.

En [8] se presenta una arquitectura para sistemas emergentes y auto-organizados (MASOES), la cual es una herramienta para el modelado no formal de sistemas, donde el funcionamiento de los agentes se rige por los comportamientos que emergen de las interacciones entre ellos; además, los mismos autores proponen también un método de verificación, con el fin de evaluar las características emergentes y auto-organizativas del sistema [7].

En [12], un grupo de robots es utilizado para inspeccionar un entorno, con la misión de detectar múltiples objetivos (puntos de contaminación o enemigos), móviles o fijos, y, según sea el caso, capturarlos. Los comportamientos de este sistema

emergen a través de las interacciones de los individuos con su entorno.

Una arquitectura neuro-endocrina (combina un perceptrón clásico con un sistema endocrino artificial, que afecta los pesos de la red neuronal) para enjambres de robots, es presentada en [13]. El objetivo del sistema es que los robots colaboren en tareas de búsqueda de fuentes de alimento. Particularmente, ellos analizan el comportamiento emergente que aparece en el sistema.

En [14] se presenta un dispositivo experimental, que define y estudia la auto-organización en un sistema donde existen interacciones físicas. En este caso, se utilizaron robots móviles modelo Kheperas III, y se estudió la aparición de formaciones emergentes: rutas de transporte de recursos, formación de cadenas entre los robots, entre otros. En ese trabajo, la comunicación entre los robots se da de forma indirecta, a través del uso de feromonas artificiales.

Por otro lado, en [15] se presenta un método basado en máquinas de soporte vectorial y algoritmos genéticos para el aprendizaje y la evolución de un grupo de robots, con el fin de que puedan adaptarse a entornos dinámicos. En [16] se presenta una arquitectura para el desarrollo de sistemas multi-robots, brindando una plataforma que permite gestionar sistemas escalables, compartir recursos entre los robots que conforman el grupo, y la reutilización de componentes para su uso en diferentes aplicaciones. En [17] describen una arquitectura basada en comportamientos para la coordinación de sistemas multi-robots, se analiza la aparición de comportamientos emergentes en el sistema, como consecuencia de las acciones individuales de los robots.

En [18] se presenta una arquitectura de control de movimiento unificada para múltiples robots. Para esa arquitectura, los autores proponen mecanismos de coordinación de tareas y de asignación de recursos, basados en los estados de los movimientos de los robots y en las metas. Ellos presentan una discusión sobre la construcción de los elementos de la arquitectura de control, hacen un análisis de estabilidad que abarca varias tareas y configuraciones, y proporcionan ejemplos de uso.

El trabajo de [19] describe una arquitectura que permite la interacción de humanos y robots para trabajar colaborativamente en un entorno. Se basa en un modelo de actor, el cual permite procesar de forma separada información de distintas entidades (humano, robot, algoritmo). Esta arquitectura maneja problemas como la asignación y descomposición de tareas, la colaboración entre múltiples robots, entre otras cosas.

En [20] se presenta una arquitectura para sistemas robóticos distribuidos heterogéneos, basada en el paradigma de arquitectura orientada a servicios y en la representación ontológica del entorno. En este trabajo se proponen protocolos genéricos para publicar, descubrir y organizar servicios, y para crear servicios compuestos que permitan llevar a cabo tareas de forma automática. Además, toma en cuenta el monitoreo de las ejecuciones en el sistema, para realizar proceso de recuperación de fallas.

Una primera conclusión, es que la emergencia ha sido poco estudiada en la literatura para sistemas multi-robots, y normalmente, en contextos muy controlados (inspeccionar un entorno, búsqueda de alimento, transporte, etc.). En este

trabajo, se analiza el comportamiento emergente de una arquitectura para sistemas multi-robots [1,2], que soporta robots heterogéneos, sin que se definan en ella las posibles formaciones emergentes que pueden aparecer, sino que las mismas surgen producto de la propia dinámica del sistema.

La arquitectura incluye un componente emocional, que implementa en cada robot un modelo emocional, que le permite experimentar cuatro emociones: ira, rechazo, tristeza y alegría. El componente colectivo esta soportado en el principio de coordinación emergente, e implementa, además, un mecanismo de aprendizaje colectivo.

III. ARQUITECTURA PARA SISTEMAS MULTI-ROBOTS CON COMPORTAMIENTO EMERGENTE (AMEB)

La arquitectura objeto de estudio en este trabajo fue propuesta en [1, 2]. Su objetivo es gestionar los procesos de un sistema multi-robot, y particularmente, facilitar la aparición de comportamientos emergentes en el sistema.

La arquitectura AMEB, por sus siglas en inglés *Architecture for Multi-robot with Emergent Behavior*, está dividida en tres capas (Ver Figura 1), las cuales han sido presentadas en detalle en [1, 2]. A continuación, se describen, de forma general, cada uno de los niveles de AMEB.

A. Nivel individual

El nivel individual gestiona los procesos relacionados con los mecanismos de percepción y actuación, así como también, el comportamiento del robot. Este nivel funciona en estrecha relación con la arquitectura local implementada en cada individuo del sistema [5].

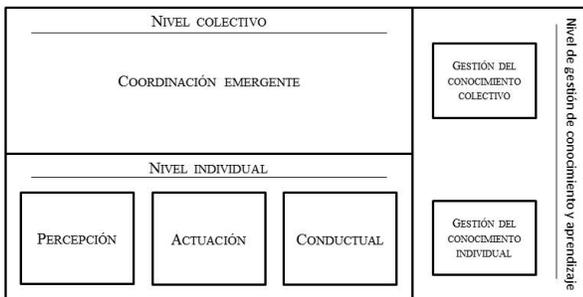


Fig. 1: Arquitectura AMEB.

Se divide en tres módulos:

Percepción/interpretación

En este módulo se gestionan los datos captados por los sensores del robot, con el fin de filtrar la data, priorizarla, y llevar a cabo un proceso de fusión sensorial para compartir dicha información con los demás niveles de la arquitectura. Con esta información, pueden ser activados comportamientos de carácter reactivo o deliberativo (Ver Figura 2).

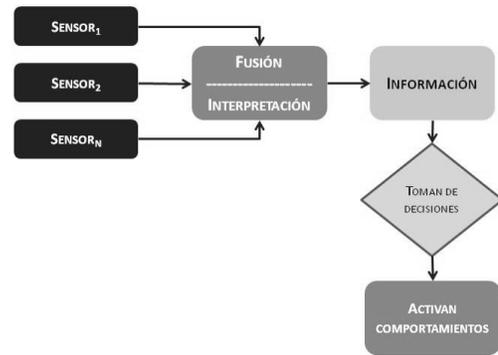


Fig. 2: Módulo de percepción e interpretación.

Actuación

Se gestiona aquí la acción de los actuadores del robot. Básicamente, se envían instrucciones relacionadas con desplazamientos del robot, giros, etc. El procesador local del robot, se encarga de convertir estas instrucciones en acciones concretas de los actuadores.

Conductual

Este módulo tiene dos tareas principales (Ver Figura 3). La primera es gestionar los comportamientos del robot, que se dividen en comportamientos básicos relacionados a las capacidades del robot, que representan la unidad primaria de acción; y comportamientos complejos que se construyen de la unión de comportamientos básicos, con la ayuda de otros niveles de la arquitectura. La otra tarea se enfoca en la implementación de un componente afectivo, que dota al robot de emociones básicas que influyen en la forma cómo actúan individualmente, y cómo interactúa con los demás individuos del sistema [2].

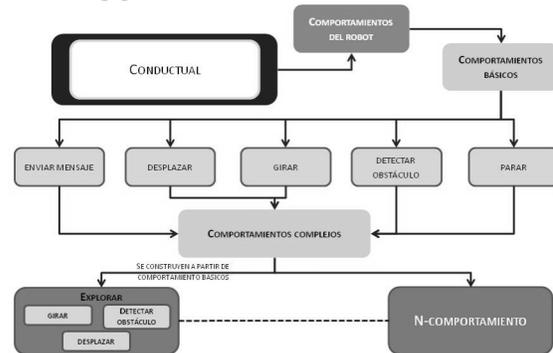


Fig. 3. Comportamientos asociados al robot.

B. Nivel colectivo

En este módulo ocurren los procesos inherentes a la gestión de las interacciones entre los individuos que actúan en el sistema, los cuales sirven para informar sobre sus quehaceres, buscar información de sus intereses, entre otros aspectos. En este módulo, la coordinación se maneja bajo el enfoque emergente, ya que a priori no se establecen las acciones a realizar. Bajo este enfoque, la división y asignación de tareas y la negociación, por ejemplo, emergen de forma natural en el sistema [21, 22]. Dependiendo de la necesidad de la comunidad de agentes/robots en un instante dado (objetivo colectivo), se pueden dar procesos de comunicación (directa o indirecta),

reclutamiento, búsqueda, entre otros, los cuales permiten la aparición de comportamientos emergentes en el sistema.

Este nivel gestiona básicamente dos tipos de interacciones:

- **Directas:** se generan mediante el pase de mensajes entre los robots, a través de redes inalámbricas.
- **Indirectas:** se realizan a través de marcas artificiales en el ambiente, las cuales pueden ser dejadas por sensores virtuales (feromonas artificiales), o pueden encontrarse en el entorno (ejemplo: marcas en el suelo), que, al ser detectadas por un robot, le permiten tomar una decisión.

En el nivel colectivo de AMEB se dan procesos propios de los sistemas emergentes, por lo que aparecen los siguientes aspectos:

- **Emergencia de Patrones:** En el sistema global como un todo, van apareciendo comportamientos genéricos, derivados de los comportamientos individuales, de los robots/agentes que conforman el sistema. Esos patrones se visualizan en este nivel colectivo.
- **Memoria Compartida:** en ella se almacena la información importante del sistema como un todo, para ser compartida por sus diferentes componentes. La información almacenada en esta memoria está relacionada con el proceso de aprendizaje colectivo.
- **Aprendizaje Colectivo:** los elementos que componen el sistema actualizan la información colectiva, basada en los objetivos alcanzados, de manera a reforzar o debilitar comportamientos.

C. Nivel de gestión de conocimiento y aprendizaje

Este nivel es responsable de la gestión del conocimiento del sistema, que se construye a medida que los robots actúan en el entorno. Gestiona los procesos de aprendizaje que se requieren para construir conocimiento, mediante procesos que se dan tanto a nivel individual como colectivo. A continuación, se describen las fases involucradas en la gestión del conocimiento en el sistema [7]:

- **Socialización:** Mecanismos para compartir el conocimiento individual con el colectivo; esta fase requiere la conversión del conocimiento implícito a explícito, de forma tal que pueda ser comunicado a los otros.
- **Agregación:** Mecanismos para clasificar, filtrar, fusionar y ampliar el conocimiento explícito, que se genera desde distintas fuentes (individuos). En esta fase se genera un conocimiento explícito más depurado, que facilita su difusión y almacenamiento en la base de datos colectiva.
- **Apropiación:** Mecanismos para la traducción del conocimiento explícito a implícito. Se requiere en esta fase, un proceso de aprendizaje individual.

IV. CARACTERIZACIÓN DE LA EMERGENCIA

La arquitectura propuesta, gestiona distintos procesos que tienen como fin facilitar la emergencia en el sistema, por lo que es necesario contar con métricas que permitan caracterizar los fenómenos emergentes que aparecen.

En [7, 8] se presenta una metodología para el modelado de sistemas emergentes y auto-organizados y un método de verificación para la misma, basado en el paradigma de la sabiduría de las multitudes. Particularmente, en este trabajo estamos interesados en la inteligencia colectiva (conocimiento global) que emerge de los conocimientos de los individuos que conforman el grupo [23], la cual se puede asociar a situaciones que pudiese gestionar la arquitectura propuesta, estos son:

- **Problemas de tipo cognitivo:** Se refiere a aquellos problemas en los que siempre hay al menos una solución y de existir varias, hay unas mejores que otras. Para encontrar una solución a este tipo de problemas se trabaja de forma colectiva, promediando el proceso de análisis de los individuos involucrados, o llegando a un consenso social.
- **Problemas de coordinación:** En este tipo de problemas, los miembros del grupo tienen la necesidad de concertar las acciones entre ellos, a pesar de no tener un objetivo en común. Por ejemplo, en la plataforma se pueden presentar problemas al compartir recursos, espacios, caminos, etc. En estos casos, los robots deben coordinarse para evitar conflictos, eventualmente negociando.
- **Problemas de cooperación:** Los miembros del grupo deben trabajar en forma conjunta con el objeto de alcanzar el logro de un objetivo en común. Un ejemplo clásico es el transporte de un objeto, en esta tarea, los robots deben cooperar.

En [23] se describen las dificultades que pueden presentarse, que provocan que la emergencia de la inteligencia colectiva del grupo no aparezca. Por tal razón, es importante considerarlas en el momento de definir los conceptos para evaluar el sistema. Algunas de esas razones son: demasiada homogeneidad, mucha centralización, excesiva imitación, entre otras.

En la arquitectura, estos aspectos tratan de resolverse presentando un equipo de robots heterogéneos en un ambiente totalmente distribuido, con un modelo emocional simplificado basado en la satisfacción de cada individuo.

Para la evaluación de la emergencia en el sistema se proponen una serie de conceptos, inspirados en [7], relacionados a las propiedades emergentes y auto-organizadas, y a los componentes propios de la arquitectura. En particular, se adecuan los conceptos definidos en [7] a la arquitectura propuesta, vinculados a las propiedades emergentes y auto-organizadas de estos tipos de sistemas:

- **Densidad (D):** Mide el grado de compacidad existente en el equipo de robots. Se mide como la cantidad de robots y el número de interacciones, tanto directas como indirectas, en el sistema.
- **Diversidad (DI):** Mide el grado de homogeneidad del grupo de robots que conforma el sistema.
- **Síntesis (S):** Mide la calidad del mecanismo de agregación, en relación a la calidad del conocimiento colectivo generado y los mecanismos de retroalimentación empleados, que favorece el comportamiento colectivo.

- *Independencia (IN)*: Mide el grado de autonomía de los robots, en cuanto a sus capacidades para la toma de decisiones sin depender de otros robots. Se mide por la calidad del mecanismo de aprendizaje empleado por el robot, y por las decisiones que toma sin imitar o hacer consultas a otros robots. Se relaciona básicamente al comportamiento individual del robot (reactivo, cognitivo).
- *Emotividad (E)*: Mide el grado de emotividad del sistema, de acuerdo al modelo emocional implementado. Se mide por los cambios en el estado emocional que presentan los robots que conforman el sistema.
- *Auto-organización (AO)*: Es medida desde tres aspectos: grado de satisfacción del sistema, su anticipación y robustez. El primero está relacionado al estado emocional de cada robot, el segundo se relaciona a la capacidad cognitiva de anticipar un cambio en el entorno, y el tercero está relacionado a la tolerancia a fallos del sistema.
- *Emergencia (EM)*: Mide el grado de evolución del sistema a través de la aparición de algunas propiedades emergentes, como patrones a nivel temporal y espacial, normas colectivas, etc.

Además de los conceptos anteriores, en [1] se definen un conjunto de conceptos arquitectónicos asociados al sistema modelado, que en nuestro caso se refiere a la plataforma gestionada por la arquitectura AMEB. En la Tabla 1 se resumen estos conceptos, y su relación con la arquitectura propuesta.

En la Figura 4, se muestra un Mapa Cognitivo Difuso (MCD) que establece las relaciones entre las propiedades emergentes y auto-organizadas del sistema, y los conceptos arquitectónicos establecidos. En particular, el concepto D, que está vinculado a las propiedades emergentes y auto-organizadas, corresponde al nodo 11, DI al nodo 12, y así para el resto de conceptos. Un MCD permite describir el comportamiento de un sistema en términos de conceptos difusos [24], para ello se utilizan grafos dirigidos, en donde sus arcos representan relaciones causales entre los conceptos (nodos).

TABLA 1
CONCEPTOS ARQUITECTÓNICOS

No	Concepto arquitectónico	Descripción	Instanciación en la plataforma	Componente AMEB
1	Número de robots (NR)	Se refiere al número de individuos del sistema	Se asocia al número de robots del sistema. Un valor Bajo es entre 3 y 6 individuos	-
2	Tipo de comportamiento (TC)	Se refiere a los distintos tipos de comportamiento que pueden tener los robots.	Comportamientos: reactivos, cognitivos e imitativos.	Nivel individual: componente conductual
3	Interacción directa (ID)	Se refiere a la cantidad de interacciones directas entre los robots.	Mecanismos de comunicación: envío de mensajes	Nivel Colectivo
4	Interacción indirecta (II)	Se refiere a la cantidad de interacciones de los robots a través del entorno.	Mecanismos de coordinación emergente. Mecanismos de comunicación.	Nivel colectivo: deposito Nivel individual: percepción/

			interpretación
5	Mecanismo de agregación (MA)	Relacionado a como la información que maneja el individuo puede ser útil al colectivo.	Gestión del conocimiento Nivel de gestión de conocimiento y aprendizaje.
6	Componente reactivo (CR)	Relacionado a los comportamientos reactivos del individuo.	Asociado a la activación de comportamientos reactivos. Nivel individual componente conductual
7	Componente cognitivo (CC)	Relacionado a los comportamientos cognitivos a través de procesos de razonamiento y aprendizaje.	Asociado a la activación de comportamientos cognitivos. Nivel individual componente conductual
8	Componente emocional (CE)	Relacionado con las emociones del robot.	Asociado al tipo de comportamiento que se activa y la emoción que lo afecta en un instante. Nivel individual: componente afectivo
9	Componente social (CS)	Relacionado a como interactúa el agente con los otros individuos del sistema.	Se asocia al número y tipo de interacciones entre los individuos y el uso del aprendizaje. Nivel colectivo
10	Tipo de emoción (TE)	Relacionado al tipo de emociones presentes en el sistema.	Se asocia a las emociones activas en un instante para cada individuo. Nivel individual: módulo afectivo

Existen dos formas clásicas para establecer las relaciones entre los conceptos [24, 25, 26]: a) basado en la opinión de los expertos, o b) basados en datos históricos. Para este trabajo se optó por la opción basada en la opinión de los expertos, tal que se establecen las relaciones de acuerdo al conocimiento teórico existente sobre las tareas que pudiese ejecutar el sistema, tomando como base los modelos clásicos de sistemas emergentes inspirados en las colonias de insectos, como las hormigas o las abejas [22].

A continuación, se describen las relaciones de causalidad que se definieron entre los conceptos:

- *Tipo de emoción*: este concepto se relaciona con otros conceptos que miden aspectos emocionales/conductuales del sistema, como son el componente emocional, tipo de comportamiento y la emotividad.
- *Componente social*: se relaciona con la *auto-organización* y *emergencia* en el sistema, ya que es un concepto ligado al comportamiento colectivo.
- *Mecanismo de agregación*: se relaciona con los conceptos de densidad, síntesis, independencia, auto-organización y *emergencia* en el sistema, ya que influye en todos ellos.
- *Componente reactivo*: este concepto mide los comportamientos reactivos que se generan en el sistema, por lo que se relaciona con el concepto de interacción, tanto directa como indirecta, así como con la emergencia y la auto-organización.

- *Componente cognitivo*: se relaciona con la capacidad de auto-organización del sistema, por su influencia en dicho proceso.
- *Componente emocional*: se relaciona con los conceptos que miden la *interacción* en el sistema, debido a que el estado emocional de los agentes puede afectar la forma en como se comunican, así como con el concepto de *emotividad*.
- *Número de robots*: se relaciona con mecanismo de agregación, tipo de comportamiento, interacción tanto directa como indirecta, densidad, diversidad, auto-organización y *emergencia*, los cuales se ven afectados por la cantidad de individuos que actúen en el sistema en un momento dado.
- *Tipo de comportamiento*: mide, los distintos tipos de comportamiento que aparecen en un momento dado en el sistema, por lo tanto, se relaciona con el componente social, componente reactivo, componente cognitivo, componente emocional, diversidad, emotividad y emergencia.
- *Interacción directa*: se relaciona con el componente social, mecanismo de agregación, tipo de comportamiento, densidad, diversidad, independencia y auto-organización, porque influye en ellos.
- *Interacción indirecta*: relacionado con el componente social, mecanismo de agregación, componente reactivo, tipo de comportamiento, densidad, diversidad, síntesis, independencia y emergencia, porque influye en ellos.
- *Densidad*: se relaciona con el concepto de emergencia, porque influye en él.
- *Diversidad*: se relaciona con la auto-organización y la emergencia, porque influye en ellos.
- *Síntesis*: se relaciona con la auto-organización y la emergencia, porque influye en ellos.
- *Independencia*: se relaciona con la auto-organización y la emergencia, porque influye en ellos.

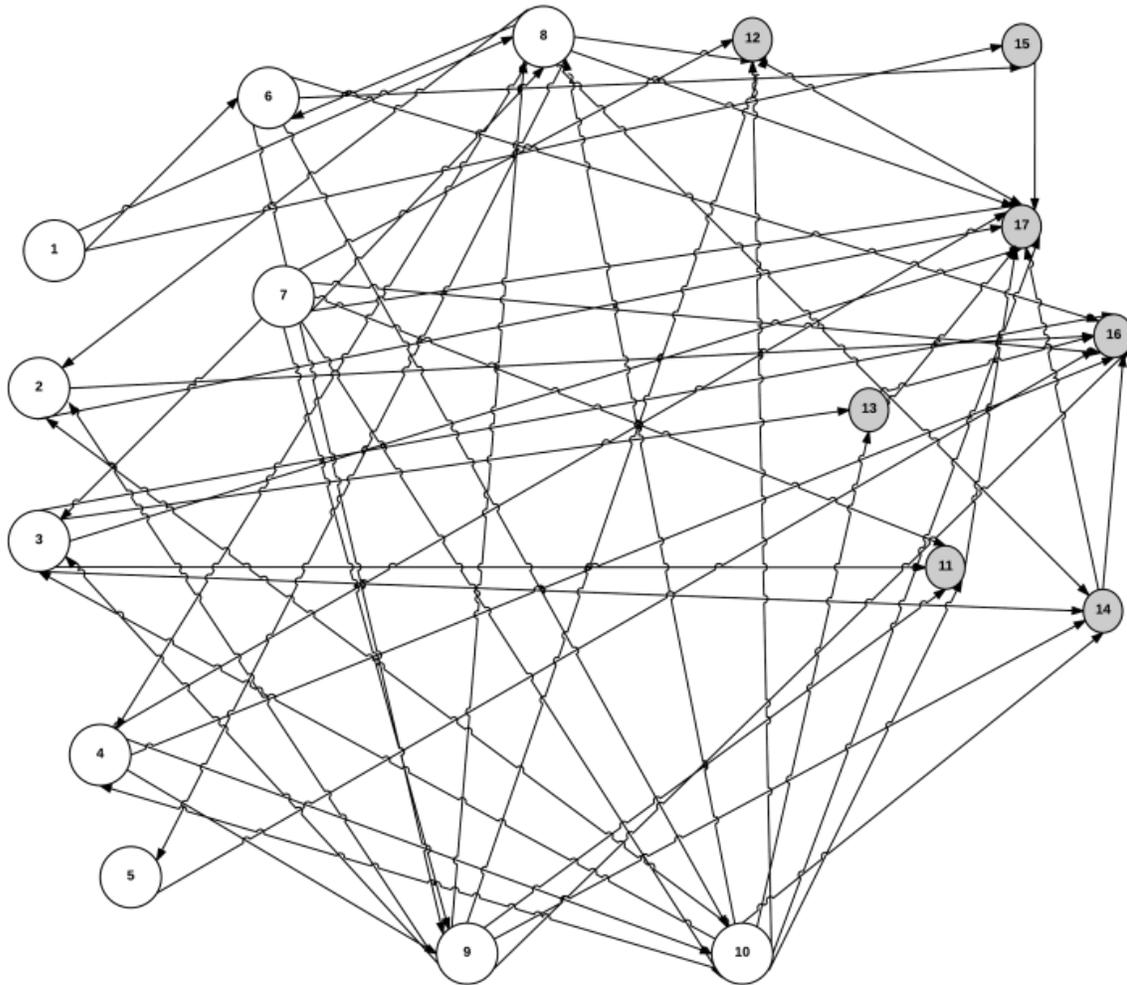


Fig. 4. Mapa cognitivo difuso.

Los conceptos relacionados con la emotividad, la auto-organización y la emergencia, dependen de los valores de los otros conceptos.

Basados en [7], se asume que el estado de los conceptos se puede encontrar en tres zonas/niveles:

- En *estado alto* en el intervalo $[2/3, 1]$, cuando dicho concepto aparece en el sistema, y contribuye de forma importante en su funcionamiento.
- En *estado medio* en el intervalo $[1/3, 2/3)$, cuando dicho concepto más o menos aparece en el sistema, y, además, contribuye con poca importancia en el sistema.
- En *estado bajo* en el intervalo $[0, 1/3)$, cuando dicho concepto no aparece en el sistema, y/o no contribuye a su funcionamiento.

Finalmente, decir que un concepto “contribuye de forma importante en el sistema”, significa para el caso de AMEB, que coadyuva al funcionamiento del sistema (ayuda en sus procesos emergentes).

De forma general, las relaciones causales (E) entre los conceptos C, son definidas, según [26, 27], en una escala del 0 al 1, donde $E_{ji} = 0$ representa que el concepto antecedente C_j no influye sobre el consecuente C_i , mientras que $E_{ji} = 1$ indica que el concepto consecuente es muy sensible a los cambios del concepto antecedente. El signo del valor que representa el peso de la relación, indica si el concepto afecta positiva o negativamente al consecuente. Basado en ello, se utiliza la ecuación 1 para actualizar los conceptos [26, 28]:

$$C_i = \sum_{j=1 \& j \neq i}^n C_j E_{ji} + C_i^{old} \quad (1)$$

Donde, n es el número de conceptos.

El algoritmo de ejecución del MCD, en nuestro caso, es el siguiente [28]:

1. Obtener los estados iniciales para todos los conceptos (los expertos), según el sistema a modelar y el escenario a evaluar ($C = [C_0, C_1, \dots, C_n]$)
2. Obtener los valores de las relaciones causales (los expertos).
3. Mientras el sistema no converja a un estado estable:
 - a. Actualizar los estados de los conceptos usando la Eq. 1.

Los valores finales de los conceptos vinculados a las propiedades emergentes y auto-organizadas con los que sale el lazo del paso 3, son los usados para hacer el análisis de la emergencia en AMEB (ver sección 5).

V. EXPERIMENTACIÓN

La plataforma de prueba simula un equipo de robots de propósito general, y una aplicación que brinda un entorno para la gestión de los procesos relacionados con su funcionamiento, en un ambiente formado por paredes y obstáculos, y marcas en el suelo que representan tareas específicas [5].

Cada robot posee una arquitectura de control local que gestiona sus componentes de hardware y software. Esta arquitectura le permite instanciar componentes del nivel individual de la arquitectura AMEB, que gestionan sus procesos de percepción y actuación. En la nube se encuentra la aplicación de control [5], donde cada robot se instancia de manera virtual. Es en este nivel donde se despliegan los otros niveles de AMEB: el colectivo, el de gestión de conocimiento y

aprendizaje, y el módulo conductual del nivel individual donde se generan los comportamientos de mayor complejidad del robot (ver Figura 5).

Con el fin de verificar el comportamiento emergente del sistema, se definen dos escenarios de prueba experimentales: un escenario donde se presente una tarea cooperativa, y un escenario donde los individuos deban actuar de forma cognitiva. En cada caso, se instancia el MCD definido en la sección anterior, para evaluar el comportamiento de AMEB. El MCD es especificado usando la herramienta FCM Tools, que permite crear y ejecutar un MCD de forma visual [28].

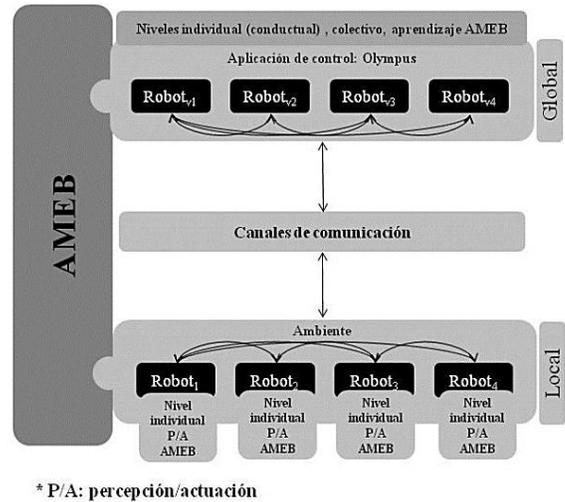


Fig. 5. Estructura de la plataforma de prueba.

A. Escenario de cooperación

El transporte de un objeto es una tarea común en algunas especies de insectos. Comúnmente, las hormigas transportan objetos de gran tamaño, y para ello reclutan a otras hormigas, y coordinan una formación alrededor de los mismos que permitan trasladarlos [22]. Esta tarea de transporte ha sido utilizada por los investigadores, para evaluar las capacidades emergentes en los sistemas multi-robots [29, 30, 31]. Para esta prueba, se plantea un escenario donde el sistema debe encontrar y transportar un objeto. Para ello, se inicializan los valores de los conceptos basado en lo explicado en el apartado anterior:

- *Componente social*: se inicializa en un nivel alto, ya que esta tarea es de carácter social. Se necesita que este concepto funcione de forma correcta.
- *Componente reactivo*: se inicializa en un nivel alto, para ser coherente con los comportamientos reactivos de los individuos en este tipo de tareas.
- *Componente cognitivo*: se inicializa en un nivel bajo, ya que en este tipo de tareas este componente no influye.
- *Interacción directa*: se inicializa en un nivel bajo, ya que, en este caso en particular, no contribuye en la tarea a ejecutar. Es decir, no se espera comunicación a través de mensajes.
- *Interacción indirecta*: se inicializa en un nivel alto, ya que debe funcionar de forma correcta; en la naturaleza, la comunicación en este tipo de tareas se da a través del entorno. En nuestro caso se asume que sea así, y que los

robots a través del medio comunican a los otros robots que han encontrado el objeto, y necesitan ayuda para moverlo.

- *Tipo de emoción:* se inicializa en un nivel bajo, no se esperan altas variaciones en los estados emocionales del robot.
- *Mecanismo de agregación:* se inicializa en un nivel medio. La información sobre el objeto que posee cada robot no es útil al colectivo.
- *Componente emocional:* se inicializa en un nivel bajo, se asume que este concepto no contribuye al funcionamiento del sistema.
- *Número de robots:* se inicializa en un nivel alto, este concepto debe funcionar de forma correcta.
- *Tipo de comportamiento:* se inicializa en nivel bajo, este concepto no contribuye al escenario planteado.
- Los conceptos relacionados con la emergencia y auto-organización se inicializan en cero, con el fin de observar que valores alcanzan cuando se estabiliza el sistema. En la Tabla 2 se presentan los valores iniciales y finales de cada concepto.

Al analizar los resultados, se observa que se alcanza un nivel de emergencia de 98% y de auto-organización de 97%, y el componente social se mantiene en estado alto, acorde al carácter social de la tarea de transporte. También, el componente reactivo se conserva en un estado alto, y el componente cognitivo decrece, tal cual como se esperaba de acuerdo a la naturaleza de la tarea. En otra simulación, se colocó el valor medio al concepto reactivo y alto al cognitivo, y se vio como el primero creció y el segundo decreció. En el transporte de un objeto, los agentes actúan preponderantemente de forma reactiva, ya que el conocimiento de cada agente sobre el objeto no afecta el comportamiento del grupo. Se observó, que la arquitectura sigue ese comportamiento.

Con respecto al resto de componentes, el componente emocional alcanza un estado alto, lo que indica que el estado emocional afecta el comportamiento de los robots, ya que las emociones influyen en la disposición o no de los robots en ejecutar la tarea. La interacción indirecta mantiene un valor superior a la interacción directa, la cual se incrementó motivado a que, por ser un sistema artificial, los individuos pueden utilizar el pase de mensaje a otros robots para intentar conseguir ayuda en un momento determinado. Ahora bien, la comunicación que predomina es a través del ambiente, por lo que los valores alcanzados en el experimento son coherentes con el comportamiento natural. En la naturaleza, en el caso de las hormigas, al momento del transporte de alimento, la comunicación se basa en procesos estigmérgicos. El número de robots pasa de estado alto a medio, lo que indica que la cantidad de robots en el entorno no necesariamente afecta la ejecución de la tarea, no todos los robots van a ser necesarios para la ejecución de la tarea, todo depende de las características del objeto a transportar.

Finalmente, los conceptos asociados a las capacidades emergentes y auto-organizadas alcanzaron un estado alto, lo cual indica que AMEB soporta ese proceso emergente.

Tipo de emoción	0,25	0,5
Componente social	0,95	0,88
Mecanismo de agregación	0,5	0,90
Componente reactivo	0,95	0,85
Componente cognitivo	0,5	0,72
Componente emocional	0,25	0,81
Numero de robots	0,95	0,60
Tipo de comportamiento	0,25	0,97
Interacción directa	0,1	0,76
Interacción indirecta	0,95	0,86
Densidad	0	0,82
Diversidad	0	0,84
Síntesis	0	0,76
Independencia	0	0,82
Emotividad	0	0,83
Auto-Organización	0	0,97
Emergencia	0	0,98

B. Escenario de consenso social

Una de las tareas que llevan a cabo las abejas en la naturaleza, es la recolección de néctar para alimentarse. En específico, un grupo de abejas exploradoras salen de la colmena en la búsqueda de fuentes de alimento, cuando las encuentran, comunican a otras abejas (observadoras) la ubicación de la fuente y su rentabilidad [22]. Al modelar el proceso, se definen los siguientes elementos:

1. Fuente de alimento: aunque en la naturaleza el valor de una fuente de alimento depende de múltiples factores, en el modelo artificial se resume a un valor numérico.
2. Abejas recolectoras empleadas: estas abejas explotan una fuente, y además, comunican a las abejas observadoras la ubicación de la misma y su rentabilidad.
3. Abejas recolectoras desempleadas: este grupo de abejas está en la búsqueda de una fuente de alimento, y se dividen en dos tipos: las exploradoras, que se encargan de buscar fuentes, y las observadoras, que se quedan en la colmena esperando, para elegir una de las fuentes que ya está siendo explotada.

En este caso, las abejas son representadas por los robots, y la tarea de recolección de néctar se asocia con la recarga de energía por parte de cada robot. Los robots al entrar en estados emocionales negativos, a causa de su bajo estado de energía, tendrán la necesidad de buscar cómo recargar, por lo que comienzan la búsqueda de una fuente de alimento, o se quedan en la espera de recibir alguna información con respecto a alguna disponible. De encontrar una fuente, el robot comenzará a explotarla, y al igual que las abejas, intentará comunicar su hallazgo a otros individuos, esto a través del envío de mensajes a cada robot (interacción directa). El llamado se espera sea atendido, preferentemente por robots cuyos estados emocionales sean ligeramente negativos (tristeza), con el fin de atraerlos para recolectar, ya que al igual que en el caso de las abejas observadoras, en nuestro caso los robots con estados emocionales ligeramente negativos son los que estarán con mayor disposición a recargarse.

Para este escenario, los conceptos se inicializan de la siguiente forma:

TABLA 2.

ESCENARIO DE COOPERACIÓN

Concepto	Estado inicial	Estado final
----------	----------------	--------------

- *Componente social de los individuos*: se inicializa en alto. Se estima que los robots deben socializar, para informar a los otros robots sobre las fuentes de alimento.
- *Componente reactivo*: se inicializa en un nivel alto. Los comportamientos de tipo reactivo influyen en esta tarea, ya que el robot reaccionará a su falta de energía y buscará actuar en función de ello.
- *Componente cognitivo*: se inicializa en un nivel bajo, ya que este concepto no influye en este escenario.
- *Interacción directa*: se inicializa en un estado alto, ya que se espera que los robots se comuniquen de forma directa a través de mensajes, con la ubicación de las fuentes.
- *Interacción indirecta*: se inicializa en un nivel bajo, dado que en esta tarea la comunicación no se realiza a través del entorno.
- *Tipo de emoción*: se inicializa en un nivel alto. Se asume que las emociones contribuyen de forma importante en la ejecución de la tarea, debido a que el estado emocional del robot influirá en la necesidad de buscar recargar su energía.
- *Mecanismo de agregación*: se inicializa en un nivel alto, ya que se debe agregar la información de los diferentes objetos (fuentes de recargas) encontrados, para tomar una decisión de adonde ir.
- *Componente emocional*: este componente influye en el sistema de manera importante, ya que el estado emocional es el que predispone al agente a buscar y explotar fuentes de carga.
- *Número de robots*: se inicializa en un nivel medio. Se espera que el número de robots influya medianamente en el comportamiento global.
- *Tipo de comportamiento*: se inicializa en un nivel alto, ya que se espera que los robots varíen su comportamiento durante la ejecución de la tarea. En este caso en particular, pueden variar constantemente entre robots exploradores, robots recolectores y robots observadores.

Los conceptos asociados a las propiedades emergentes y auto-organizadas se inicializan en cero, para observar que valores que alcanzan. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos, luego de ejecutar el MCD. Los conceptos relacionados con la emergencia y auto-organización alcanzan un valor alto, así como el concepto relacionado con el mecanismo de agregación se mantiene en un estado alto. Se infiere que el conocimiento que cada individuo posee acerca de la fuente de alimento es útil para el colectivo (caso de las abejas y la danza para comunicar información).

Se observa también, como a pesar de que el concepto relacionado con la interacción indirecta se incrementa, la interacción directa continúa siendo mayor, lo que indica que los agentes comunican a otros miembros del grupo información sobre las fuentes de recarga de forma directa, principalmente. Otro concepto que presenta una variación significativa es el relacionado con el componente cognitivo. El conocimiento que van adquiriendo los usan en las decisiones que van tomando los robots. Así, robots cuya carga de batería este en descenso, estarán más interesados en buscar alimento, que robots que estén con su carga en estado normal. Se da un proceso de toma de decisión donde el robot busca sobrevivir, y para ello, reacciona para recargarse, buscando en una fuente conocida (si

la conoce). Además, informa a los demás individuos del grupo sobre la fuente que está explotando.

TABLA 3.
ESCENARIO DE CONSENSO SOCIAL

Concepto	Estado inicial	Estado final
Tipo de emoción	0,95	0,80
Componente social	0,95	0,81
Mecanismo de agregación	0,1	0,90
Componente reactivo	0,95	0,85
Componente cognitivo	0,1	0,73
Componente emocional	0,95	0,81
Número de robots	0,5	0,61
Tipo de comportamiento	0,95	0,98
Interacción directa	0,95	0,87
Interacción indirecta	0,1	0,76
Densidad	0	0,87
Diversidad	0	0,88
Síntesis	0	0,80
Independencia	0	0,86
Emotividad	0	0,86
Auto-Organización	0	0,99
Emergencia	0	1,00

En los dos escenarios de prueba, se plantearon dos tareas que se dan en la naturaleza, la tarea de transporte de un objeto (hormigas) y la tarea de recolección de alimento (abejas). En ambas tareas, los individuos llevan a cabo acciones complejas que exceden sus capacidades individuales, y son el resultado de procesos de toma de decisiones descentralizados y de reglas simples que rigen a los individuos que conforman el grupo. Estas tareas son ejemplos del fenómeno de emergencia, y han sido ampliamente discutidas en la literatura, en la cual se ha demostrado a través de modelos matemáticos, que en efecto ocurre la emergencia [22].

VI. COMPARACIÓN CON TRABAJOS PREVIOS

Con el objetivo de comparar este trabajo con otras investigaciones, se definieron ciertos criterios. A continuación, se describe cada uno de ellos:

- *Número de robots (NR)*: este criterio evalúa los modelos, en función del tamaño del grupo. Está relacionado con la escalabilidad del sistema.
- *Componente emocional (CE)*: este criterio se propone, para evaluar si los modelos implementan emociones en los individuos que los componen.
- *Verificación de la emergencia y de la auto-organización (VE)*: este criterio se relaciona con la inclusión de algún mecanismo de verificación en el sistema.
- *Adaptabilidad (A)*: se relaciona con la diversidad de tareas que puede llevar a cabo el sistema, y la adaptación del grupo a las mismas.
- *Diversidad del grupo (D)*: relacionado con la heterogeneidad del grupo de robots.
- *Aprendizaje social (AS)*: se establece para evaluar, si los modelos poseen mecanismos de aprendizaje social.

En la Tabla 4 se presenta un resumen de las arquitecturas evaluadas, en base a los criterios propuestos. Se seleccionaron trabajos, con características y objetivos similares al sistema objeto de estudio. En general, se observa que las arquitecturas estudiadas presentan componentes basados en comportamientos. Además, los robots/agentes poseen

conjuntos de comportamientos, que, de acuerdo a los estímulos recibidos, se activan en un instante de tiempo. Ahora bien, en estos trabajos no se presenta un componente emocional que influya en dichos comportamientos. Por otro lado, la verificación de la emergencia no se menciona en la mayoría, aunque implícitamente se presume que existe emergencia en el sistema, sin presentar un método para verificarla. A su vez, son adaptables y pueden actuar en la ejecución de diferentes tareas, y en general son heterogéneos, y algunos cuentan con un mecanismo de aprendizaje colectivo. Finalmente, el número de robots varía, de acuerdo al tipo de sistema multi-robot, presentándose en un nivel alto cuando son sistemas bajo la filosofía de enjambres. Nuestra propuesta incluye un componente conductual que gestiona un componente emocional, es adaptable, puede gestionar grupos heterogéneos, cuenta con un componente de aprendizaje, y puede gestionar grupos de robots a diferente escala [1, 2]. Algunos de los criterios considerados aquí (NR, A, D), serán validados experimentalmente en nuestra arquitectura en otros trabajos, pero en principio, a nivel teórico, no existe ninguna restricción.

En general, se puede concluir que los mecanismos de verificación del comportamiento emergente en un sistema multi-robots han sido poco estudiados. En este trabajo se presenta un modelo de verificación adecuado para la arquitectura propuesta en [1, 2].

TABLA 4.
COMPARATIVA CON TRABAJOS PREVIOS

Arquitectura	Criterios de comparación					
	NR	CE	VE	A	D	AS
AMEB	Medio	Si	Si	Si	Heterogéneo	Si
SWARM-BOT [14]	Medio	No	No	Si	Heterogéneo	No
Swarm Robot System [15]	Alto	No	No	Si	Homogéneo	Si
ACROMOVI [16]	Bajo	No	No	Si	Heterogéneo	No
Arquitectura basada en comportamiento [17]	No se define	No	Si	Si	Híbrido	Si

VII. CONCLUSIONES

La arquitectura para sistema multi-robots propuesta, se caracteriza por distribuir sus procesos, de forma tal que faciliten la aparición de la emergencia y la auto-organización en el sistema. Cada individuo instancia la arquitectura de forma individual, en dos niveles: uno local y uno en la nube, y sus comportamientos son gestionados de forma individual. La arquitectura introduce un componente conductual basado en emociones, que modifica el comportamiento de cada individuo y su respuesta ante los estímulos que recibe del entorno, lo que hace que su comportamiento ante una situación, no pueda ser determinado a priori.

La arquitectura incluye un nivel de coordinación basado en el paradigma emergente, el cual facilita la coordinación entre los individuos a través de procesos de interacción social, de tal manera que la coordinación surge de la dinámica propia del sistema, gestionando las interacciones tanto directas como indirectas que se dan entre los individuos.

Por otro lado, se modeló el sistema utilizando un MCD, el cual permite verificar los fenómenos de emergencia y auto-organización en el sistema. Para este trabajo, se establecieron una serie de conceptos asociados a la arquitectura propuesta, y otro conjunto asociado a las propiedades emergentes y auto-

organizadas, basado en los trabajos [6, 7, 8]. Los valores de las relaciones entre conceptos se establecieron mediante la opinión de un experto, con base al comportamiento teórico esperado del sistema durante la ejecución de determinadas tareas. Utilizando una herramienta para la construcción y ejecución de MCD, se validó el comportamiento de la arquitectura en dos escenarios, el primero relacionado con un problema de cooperación y el segundo con un problema de consenso social. En ambos casos, se obtuvieron valores de los conceptos de emergencia y auto-organización acorde a lo esperado.

Se comparó la arquitectura propuesta con otros trabajos relacionados, para ello se definieron un conjunto de criterios. En nuestra arquitectura resalta la inclusión de un componente emocional en los robots, y la utilización de un método para verificar la emergencia en el sistema.

Se plantea como trabajo futuro, la ampliación del modelo emocional con el objeto de considerar un espectro emocional que se acerque más al humano, además de la inclusión de un mecanismo en los robots, que le permita reconocer emociones en los otros individuos del sistema. Además, se realizarán simulaciones con nuestra arquitectura, para validar el comportamiento de sus componentes.

REFERENCIAS

- [1] A. Gil, J. Aguilar, R. Rivas, E. Dapena & K. Hernandez. "Architecture for Multi-robot Systems with Emergent Behavior," in *International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)*, 2015, pp. 41-46.
- [2] A. Gil, J. Aguilar, R. Rivas & E. Dapena. "Behavioral Module in a Control Architecture for Multi-robots," *Revista Ingeniería al Día*, 2016, vol. 2, No. 1, pp. 40-57.
- [3] M. S.Couceiro, C. M Figueiredo, J. M. A. Luz, N. M. Ferreira & R. P. Rocha. "A Low-Cost Educational Platform for Swarm Robotics," *International Journal of Robots, Education & Art*, 2012, vol. 2, no 1.
- [4] V.K. Pilonia, S. Mishra, S. Panda & A. Mishra. "A novel approach to swarm bot architecture," in *International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, 2009, pp. 418-422.
- [5] K. Hernández, A. Gil, J. Aguilar, R. Rivas & E. Dapena. "Diseño de una plataforma multi-robot de propósito general," in *Simulación y aplicaciones recientes para ciencia y tecnología*, 2016, vol.8, pp. 785-796.
- [6] N. Perozo, J. Aguilar & O. Terán. "Proposal for a Multiagent Architecture for Self-Organizing Systems (MA-SOS)," *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, 2008, vol. 5075, pp. 434-439.
- [7] N. Perozo, J. Aguilar, O. Terán & H. Molina. "A verification method for MASOES," *IEEE transactions on cybernetics*, 2013, vol. 43, no 1, pp. 64-76.
- [8] N. Perozo, J. Aguilar, O. Terán & H. Molina. "An affective model for the multiagent architecture for self-organizing and emergent systems (MASOES)," *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 2012, vol. 35, no. 1, pp. 080-090.
- [9] D. Cañamero. "Modeling motivations and emotions as a basis for intelligent behavior," in *Proceedings of the first international conference on Autonomous agents*, 1997, pp. 148-155.
- [10] D. Cañamero. "Designing emotions for activity selection in autonomous agents," in *Emotions in humans and artifacts*, 2003, pp. 115-148.
- [11] O. Simonin, T. Huraux, F. Charpillet. "Interactive surface for bio-inspired robotics, re-examining foraging models," in *23rd IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, 2011, pp. 361-368.
- [12] J. Sebestyénová & P. Kurdel. "Multi-robotic system with self-organization for search of targets in covered area," in *11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*, 2014, vol. 2, pp. 451-458.
- [13] J. Timmis, L. Murray & M. Neal. "A neural-endocrine architecture for foraging in swarm robotic systems," in *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization*. Springer, 2010, pp. 319-330.
- [14] E. Sahin, T.H. Labella, V. Trianni, J.L. Deneubourg, P. Rasse, D. Floreano, & M. Dorigo. "SWARM-BOT: Pattern formation in a swarm of self-

- assembling mobile robots,” in *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2002.
- [15] S. Sang-Wook, Y. Hyun-Chang & S. Kwee-Bo. “Behavior learning and evolution of swarm robot system for cooperative behavior,” in *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 2009, pp. 673-678.
- [16] P. N. Rogla & E. C. Mateu. “La arquitectura Acromovi: una arquitectura para tareas cooperativas de robots móviles,” *Una perspectiva de la inteligencia artificial en su 50 aniversario: Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia*, 2006, pp. 365-376.
- [17] F. De la Rosa & M. E. Jiménez. “Simulation of Multi-robot Architectures in mobile Robotics,” in *IEEE Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*, 2009, pp. 199-203.
- [18] J. Shepard & C. Kitt. “A Multirobot Control Architecture for Collaborative Missions Comprised of Tightly Coupled, Interconnected Tasks,” *IEEE Systems Journal*, 2018, vol. 12, no. 2, pp. 1435-1446.
- [19] A. Singhal, H. Singh, A. Penumatsa, N. Bhatt, A. Prakash, S. Kumar & R. Sinha R. “An Actor Based Architecture for Multi-Robot System with Application to Warehouse,” in *ACM 1st International Workshop on Internet of People, Assistive Robots and Things*, 2018, pp. 13-18.
- [20] K. Skarzynski, M. Stepniak, W. Bartyna & S. Ambroszkiewicz. “SO-MRS: a multi-robot system architecture based on the SOA paradigm and ontology,” in *Annual Conference Towards Autonomous Robotic Systems*, Springer, 2018, pp. 330-342.
- [21] J. Aguilar. “A Survey about Fuzzy Cognitive Maps Papers,” *International Journal of Computational Cognition*. Yang’s Scientific Research Institute, 2005, vol. 3, no. 2, pp. 27-33.
- [22] J. Aguilar, *Introducción a los Sistemas Emergentes*. Mérida: Talleres Gráficos, Universidad de los Andes, Venezuela, 2014.
- [23] J. Surowieck, “Wisdom of Crowds”. *Random House*, USA, 2005.
- [24] J. Aguilar. “Different dynamic causal relationship approaches for cognitive maps,” *Applied Soft Computing*, 2013, vol. 13, no. 1, pp. 271-282.
- [25] J. Aguilar. “A fuzzy cognitive map based on the random neural model,” in *International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems*. Springer, 2001, pp. 333-338.
- [26] J. Aguilar. “Dynamic Fuzzy Cognitive Maps for the Supervision of Multiagent Systems,” *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Application*, Springer, 2010, pp. 307-324.
- [27] J. Aguilar, M. Cerrada, G. Mousalli, F. Rivas & F. Hidrobo. “A Multiagent Model for Intelligent Distributed Control Systems,” *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, 2005, vol. 3681, pp. 191-197.
- [28] J. Aguilar & J. Contreras. “The FCM designer tool”, *Fuzzy Cognitive Map: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Application*, Springer, 2010, pp. 71-87.
- [29] Y. Tohyama & H. Igarashi. “Cooperative transportation by multi-robots with selecting leader,” in *35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*, 2009, pp. 4179-4184.
- [30] S. Moon, D. Kwak & H. J. Kim. “Cooperative control of differential wheeled mobile robots for box pushing problem,” in *12th International Conference IEEE on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 2012, pp. 140-144.
- [31] A. Ghosh, A. Konar & R. Janarthanan. “Multi-robot cooperative box-pushing problem using multi-objective particle swarm optimization technique,” in *IEEE World Congress on Information and Communication*



Angel Gil, es Ingeniero en Informática de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela. Obtuvo un Diploma de Estudios Avanzados en Ingeniería de Sistemas y Automática en la Universidad de Málaga, España.

Actualmente, es candidato a Doctor en el programa de Ciencias Aplicadas de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Es investigador/docente categoría Agregado en la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), investigador del Laboratorio de Prototipos de la misma Universidad, del cual fue responsable entre los años 2010- 2015. Coordinador de Investigación Industrial del Decanato de Investigación UNET, período 2015-2018. Ha publicado alrededor de 30 artículos en

revistas y actas de congresos, en el área de IA, robótica y desarrollo de software. Actualmente es desarrollador de software en la empresa Alquimia Soft. S.A. en Ambato, Ecuador y miembro de la red de investigación Tepuy R+D Group, Artificial Intelligence Software Development.



Jose Aguilar, es Ingeniero de Sistema de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Obtuvo una Maestría en Informática en la Universidad Paul Sabatier, Toulouse, France y el Doctorado en Ciencias Computacionales en la Universidad Rene

Descartes, Paris, France. Además, realizó un Postdoctorado en el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Houston. Es profesor Titular del Departamento de Computación de la Universidad de los Andes (ULA) e investigador del Centro de Microcomputación y Sistemas Distribuidos (CEMISID) de la misma universidad. Es miembro Correspondiente Estatal de la Academia de Mérida y del Comité Técnico Internacional de la IEEE en Redes Neuronales. Además, actualmente es el coordinador del Programa Doctoral en Ciencias Aplicadas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Fue Presidente fundador del Centro Nacional de Desarrollo e Investigaciones en Tecnología Libre (CENDITEL), y de FUNDACITE-Mérida. Además, Jefe del Departamento de Computación de la ULA del 2011 al 2014, y Director del CEMISID del 2001 al 2007. Ha publicado más de 400 artículos científicos en revistas, libros y actas de congresos internacionales, en los campos de Sistemas Paralelos y Distribuidos, Computación Inteligente, Optimización Combinatoria, Reconocimiento de Patrones, Sistemas de Automatización Industrial, etc. También ha sido autor/coautor de 10 libros, editor de varios libros, y forma parte de varios comités editoriales de revistas. Además, ha dictado cursos de entrenamiento nacional e internacional y ha recibido varios premios/reconocimientos nacionales e internacionales científicos. El Dr. Ha sido presidente del Comité Científico de varios eventos nacionales e internacionales. Además, ha coordinado o participado en más de 30 proyectos de investigación o industriales. Por otro lado, ha sido consultor de diferentes empresas, ministerios y universidades latinoamericanas y venezolanas. Finalmente, ha sido tutor de más de 90 tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado, actualmente es coordinador de la red de investigación Tepuy R+D Group, Artificial Intelligence Software Development.



Eladio Dapena, es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela. Doctor en Ingeniería Industrial y DEA por la Universidad Carlos III de Madrid, España, Posee Especialización en Automatización Industrial por la Universidad

Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil. Es profesor titular de la ULA y profesor/investigador visitante en varias universidades en el mundo con 25 años de experiencia. Dirige desde hace 15 años el Laboratorio de Investigación LaSDAI de la Facultad de Ingeniería ULA desarrollando proyectos de I+D+i en las áreas de automatización industrial y Robótica. Cuenta con diversas publicaciones y es revisor de diferentes revistas y comités en las áreas de Robótica y Automatización.

Tutor/cotutor de más de 20 tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado. Ha participado en diversas revisiones curriculares y creador del primer Diplomado en Robótica de Venezuela. Ha participado en Proyectos/Asesorías en diversas industrias. Además ha ocupado cargos de dirección universitaria. Fue Presidente fundador de la Asociación Venezolana de Robótica y Domótica (AVERO).



Rafael Rivas, es Ingeniero de Sistemas y Magister Science de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. DEA en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Carlos III de Madrid, España. Realizó su Doctorado en Ingeniería en la Universidad Carlos III de Madrid. Su tesis de Doctorado fue en el área de Arquitecturas de Control para Robots Móviles Personales. Es uno de los creadores del Robot Maggie de la UC3M. Es profesor Titular adscrito al Departamento de Computación de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Agile Design Process with User-Centered Design and User Experience in Web Interfaces: A Systematic Literature Review

Jucélia Giacomelli Beux, Ericles Andrei Bellei, Laís Andressa Brock,
Ana Carolina Bertolotti De Marchi, Carlos Amaral Hölbig

Abstract—In the search for faster software development techniques that consider user’s needs, agile methods are getting space in the corporate scenario, as well as in scientific research. However, integrating agile software development with user-centered design (UCD) and user experience (UX) is a challenging task. In this way, we systematically reviewed the literature until 2017 to identify and understand how UX can be considered in agile development, particularly for graphical interfaces of web applications. The search was performed in the ACM, IEEE, Science Direct, and Springer databases. We found a total of 815 studies, of which 13 met the eligibility criteria. This research is important for evidencing the information acquired and used to map how agile methods can consider the stakeholders, activities, and techniques that directly imply the way the products are developed to meet the user’s expectations. There are many agile methods, each with its advantages and disadvantages, but we conclude that the methods that integrate better with UX or UCD are Scrum and XP.

Index Terms—Web graphical interfaces, Agile Software Development, User Experience, User-Centered Design.

I. INTRODUCTION AND BACKGROUND

Agile methods have become popular in recent years for delivering positive results and rapid changes in software development. Even so, not all the projects implemented using agile methods are considered to be successful. One of the reasons for project failure is the adoption of the wrong agile method since this choice is a challenging task [1].

The effects of agile software development, according to Chuang et al. [2], are immediate feedback through customer engagement, adaptation, and effective response to changes, among others. In addition to incremental value delivery, agile software development can increase the business value and facilitates achieving of the company’s goals. Agile methods are anchored in an iterative and incremental development cycle that quickly produces functional application versions that deliver value-based solutions to the customer [3].

However, Dingsøyr et al. [4] mention some of the remaining challenges, such as identifying the most efficient agile methods, adopting agile methods in distributed projects, and the

need for theoretical foundations when investigating the agile development and its various practices. Rivero et al. [5] argue that agile software development approaches are now becoming the industry standard for web application development as they emerge as a response to the need to adapt quickly to changing environments. Rodden et al. [6] explain that advances in web technology have enabled more applications and services to become web-based and increasingly interactive. Still, development standards for graphical interfaces in web applications are different from mobile interfaces and other environments [7].

Among the paradigms for the development of interfaces are the User-Centered Design (UCD) and User Experience (UX).

For Garrett [8], the concept of UCD consists of taking the user to each part of the project during development, so that it is tested and evaluated, and these considerations are taken into account for the outcome of the final product.

The International Organization for Standardization (ISO 9241-210) [9] defines UX as a person’s perceptions, responses resulting from the use or anticipated use of a system, product, or service. User experience includes emotions, beliefs, preferences, physical and psychological perceptions, color responses, behaviors and achievements that occur before, during, and after use of the system, product, or service. According to it, UX is a consequence of brand image, presentation, functionality and system performance.

In this perspective, integrating UCD or UX into agile environments becomes a challenge [10], [11]. Changyuan et al. [12] emphasize that UX can guide conception and information, but also provides the basis for improving a platform by assessing the quality of its growing importance. However, for Gordillo et al. [13] there is still a gap between research and practice, since many evaluation methods and studies are kept in the academic field and are never translated into practice, and many software companies are not even aware of UX importance.

Agile methodologies such as Scrum, Kanban or Extreme Programming (XP), provide a process model for developing products. These templates do not define the type of product that meets the needs of users and the expectations of customers. Therefore, to fill this gap and to develop products with a good UX, development approaches are applied using UCD [14].

Dingsøyr et al. [4] recognize that the relationship between agile software development and UX is solid. For Chamberlain et al. [15], if agile and UCD methods are successfully

Article history:

Received 20 September 2018

Accepted 11 December 2018

Manuscript received August 30, 2018; revised December 17, 2018.

Researches from Graduate Program in Applied Computing at University of Passo Fundo (Brazil) (E-mails: 68428@upf.br, 168729@upf.br, 104492@upf.br, carolina@upf.br, holbig@upf.br)

integrated within a project team, there will be benefits to both business and user. Plonka et al. [16] emphasize that integrating the UX design with agile development continues to be the object of academic analysis and professional discussions. The same authors prove that this integration is always a challenge, no matter which agile method is used.

However, integrated agile and UCD methods add value to the process adopted and to the teams, as Hussain et al. [17] concluded in their qualitative research. The authors realized that adopting the agile design process centered on the user by their teams resulted in the improvement of quality and usability of the developed product. They also concluded that the resulting product increased end-user satisfaction, which is one of the most crucial success factors for an application. Kuusinen et al. [18] point out that further research is needed to integrate agile and UX methodologies.

Given this context, we systematically reviewed the literature to identify studies applying agile methodologies considering UCD or UX for development of graphical web interfaces.

II. METHODOLOGY

This paper shows a systematic literature review (SLR) quantitative, which is a way to evaluate and interpret all available research relevant to a particular research question, topic area or phenomenon of interest, according to Sampaio and Mancini [19]. Systematic reviews aim to present a fair evaluation of a study topic using a reliable, rigorous and auditable methodology [20].

A. Research Questions

The guiding questions of this research aimed to select studies of agile methodologies adopted for web interface development, and that consider User Experience:

- 1) What are the commonly cited agile methods for web graphical interface development that consider UX or UCD?
- 2) How does the integration among the agile method and UX or UCD occur?

B. Search Terms and Databases

Following the PICO strategy [21], the search terms was defined as follows: ((*Agile OR "Agile Method" OR "Extreme Programming" OR Scrum OR Sprint*) AND (*Interface OR Design OR "Web Design"*) AND (*"User Experience" OR "Human-Centered Computing" OR "User Centred Design"*) AND (*"Web Application" OR Web OR WebSite OR Site*)).

For searching, we selected four databases: Springer, Science Direct, Association for Computing Machinery (ACM), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). With the search string, the searches were carried out in the bases selected in 2017. There was no change in the search string, and we considered only particularities of each base. Journal articles, book chapters, and conference proceedings were considered, without date and language restriction.

C. Eligibility Criteria

The eligibility criteria defined and considered in this study for the inclusion of results in the final analysis are:

- 1) Papers that specify at least one agile methodology for web application development.
- 2) The methodology needs to consider User Experience.

D. Studies Selection Process

We conduct the studies selection method in three phases:

Phase 1: Search in the selected databases. The search string was applied to all selected databases, according to the particularities of each one;

Phase 2: Preliminary selection. Reading the title, abstract and keywords of the articles selected in the bases, with the purpose of verifying compliance with the eligibility criteria;

Phase 3: Full reading screening. The studies were carefully analyzed in a complete reading to verify if they undoubtedly met the eligibility criteria, resulting in the papers included for final analysis.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The results were analyzed from the selection process and based on the content of the included articles, according to what is presented in the next sections. The selected studies can enable analysis from different aspects.

A. Selection Process Analysis

In the searches carried out in the first phase, 815 articles were identified, of which 670 were excluded because they were duplicated or did not meet the eligibility criteria, that is, if the articles did not specify at least one agile methodology for web application development or if the methodology did not consider the user experience. The remaining 145 have been read completely, and only 13 answered the research questions presented in this study. Fig. 1 shows the flow diagram of the selection process for included studies.

B. Studies Analysis

Through the results obtained, it is possible to analyze the research questions.

1) *Research Question 1: What are the commonly cited agile methods for web graphical interface development that consider User Experience (UX) ?:*

Table I shows which the reviewed studies most cited agile methods for web graphical interface development.

In the search performed, it was identified that the agile methods most cited are Scrum and XP (Extreming Programming). The Scrum Method is quoted in ten studies, and the XP method in seven studies. The DSDM (Dynamic Systems Development Method) and TDD (Test Driven Development) were both cited three times each.

The study of Dingsøy et al. [4] surveyed to identify some essential points in the decade about agile methods. The same

TABLE I
AGILE METHODS INTEGRATED WITH UX AND UCD CITED IN EACH REVIEWED STUDY.

Study	Agile Methods			Paradigms	
	Scrum	XP	TDD	UX	UCD
Kuusinen et al. [18]	✓			✓	
Chamberlain et al. [15]	✓			✓	
Hussain et al. [22]	✓			✓	
Humayoun et al. [23]			✓		✓
Dingsøy et al. [4]	✓	✓		✓	✓
Felker et al. [24]	✓	✓	✓	✓	✓
Changyuan et al. [12]	✓	✓	✓	✓	✓
Carlson and Turner [25]	✓			✓	
Da Silva et al. [26]		✓			✓
Gordillo et al. [13]	✓	✓		✓	
Rivero et al. [5]	✓				✓
Plonka et al. [16]		✓			✓
Salah et al. [27]	✓	✓			✓

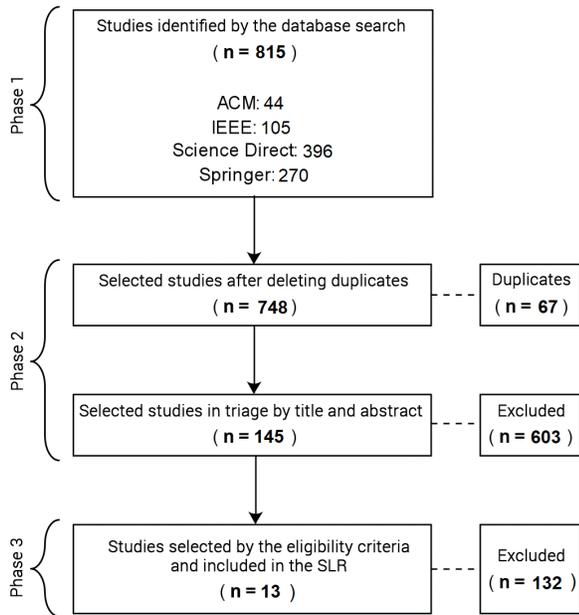


Fig. 1. Phases of the selection process of the papers that were part of the systematic literature review.

study identifies that, after the Agile Manifesto (2001), half of the studies on the subject focused on agile research in general, the other studies focused on XP, TDD (test-driven Development) and Scrum. Finally, he cites companies like IBM, Microsoft, and Adobe that have adopted the agile methods in their projects and obtained benefits.

The research of Gordillo et al. [13] evaluated the impact of Usability and UX on software development. In order to instigate agility in the software development process, some methods based on the agile development principle, such as Scrum meetings and XP, were used. In the end, development team members considered that the most influential factor in development was Scrum based meetings for “usability and user experience evaluation methods”. Some members pointed to practices coming from XP as very useful. An important point to note is that for the developers, meetings that did not follow the Scrum methodology were not considered useful or productive.

The study of Felker et al. [24] aimed to analyze the current

capabilities and future trends of software support for agile ER requirements (Requirements Engineering) based on User Story. The user story comprises three-time aspects known as 3C: card, conversation, and confirmation. Besides, user stories are not considered artifacts of analysis activities, but rather an analysis tool.

In the reviewed studies, in addition to the approach of agile methodologies, some report the use of tools that make the implantation of the methods feasible. As an example, Felker et al. [24] used and concluded that the VersionOne tool, which supports Scrum, XP, DSDM, Agile Unified Process, and hybrid approaches, was the one that best met the criteria selected by the study. These authors selected the VersionOne tool for supporting methodology models for Scrum, XP, DSDM, Agile Unified Process, and hybrid approaches.

The study of Dingsøy et al. [4] pointed to future research that focuses on agile hybrid, distributed teams, focus on theoretical research and knowledge management. In the same way, they point out that research in agile methods focuses more on XP, Scrum, and FDD.

2) *Research Question 2: How does the integration among the agile method and User Experience (UX) or User-centered design (UCD) occur?:*

UCD has emerged from the Human-computer Interaction studies and is a paradigm used by developers and designers to ensure that products will meet user needs [28]. It is correct to say that the use of the UCD paradigm will make the applications have better usability and, consequently, a better UX. According to the Lowdermilk [28], when designing tools using the user as the center of the development process, one can maintain the focus of the end user’s needs and can save development time avoiding possible scope errors.

The UCD process can exist in many variations; it can be incorporated into agile methods, the cascade method, among others. Depending on the team’s needs and experiences, the process can be built with different methods and tasks to meet specific needs.

Table I shows the studies that performed integration among agile and UX or UCD. Among the reviewed studies, the methodologies that were most tested to perform the integration among UCD, UX and agile methods were Scrum and XP.

The Kuusinen et al. [18] study addresses the integration of the Scrum with UX, to enhance the user experience. The case study applied to the Food-co-ops website was a positive experience. Three members participated in the project, which makes the project atypical for the number of team members to be smaller than recommended by agile practices.

The studies of Changyuan et al [12], Gordillo et al. [13] and Kuusinen et al. [18] consider the Scrum methodology to be the most recommended for integration with UX and UCD. Scrum has a clear structure, and it makes it possible to prioritize the desirable resources involved in the project. The planning of each Sprint causes the user to analyze the tasks and the implications of each. The revisions make it possible to identify errors before the implementation, as well as to identify usability problems.

There is a lack of understanding of the role of the UX design in the agile environment. There is little guidance on how to integrate the two perspectives. The study by Da Silva et al. [26] describes the different roles that design will have in the agile environment, improving the understanding of the integration of the areas.

Chamberlain et al. [15] propose the development of a framework that integrates UCD practices with agile development through an ethnographic observation. In this study, qualitative research was carried out taking into account the studies of people and their cultures, their anthropological and social characteristics, the importance of knowing who the users are, of understanding their priorities and goals and actively involving them in discovery requirements. The agile methods used in this study were Scrum and XP. Users gave feedback and tested prototypes, were interviewed, observed and questioned for the research, and their interaction with the product was taken into consideration in details. Collaboration between individuals within the team, especially the collaboration between designers and developers was very significant. The usability engineer noted that design prototyping goes faster than development since development languages are slower for prototyping. The designers worked at a different pace from the developers, which made it harder to iterate their versions. For the authors, the current tools simplify the generation of more generic prototypes, which reuses blocks that were used before, with little alteration for visual purposes only. The prototypes development require more time because it is necessary to implement logic with programming languages, and the validation tests that are required for the user to approve what has delivered.

The research by Chamberlain et al. [15] addresses five principles for integrating UCD into agile development:

- Involvement of users: the user must be involved in the process;
- Collaboration and culture: designers and developers should be willing to communicate and work together and on a daily basis. The client must also be an active member of the team;
- Prototyping: designers must be willing to “feed the developers” with prototypes and user feedbacks in a cycle where everyone is involved;
- Project life cycle: users’ needs must be discovered before something is developed;

- Project management: the integration must exist in a cohesive framework that facilitates without much bureaucracy and without imposing many rules.

UCD is an approach that aims to engage users in a meaningful and proper way throughout the development of a system. According to Chamberlain et al. [15], the successful integration of agile and UCD methods within a project team, bring benefits to the business and user.

For Plonka et al. [16], integration can be divided into two categories, as follows:

- 1) Bring people closer to each other, integrating and socializing, where professionals can share information about their roles with each other and divide their workspaces, generating more interaction. For this to be possible, it takes an interdisciplinary work
- 2) The second category of integration is to align development with UX design practices, causing each development iteration to be validated considering user experience expectations.

According to Plonka et al. [16], in the XP method, the practice of one team is recommended. This view is problematic when the methodology is applied in the integration with UX. According to the author, it is not desirable to join agile designers and developers, since UX designers work better when separated from the problems of software construction, considering that these issues hinder creativity, alignment of development and design practices. So that the development team is aware of and aligned with the design team and this job is a valuable practice.

Design techniques such as creating *personas* can serve as techniques for developers when they ask for those who are developing. So that there is a reference that facilitates the progress of the project, keeping the focus on the end user, based on people previously defined. Designers with a focus on solving design doubts, minimizing future rework, can use agile methods such as question boards, which show the possibilities of user interaction with the system.

Hussain et al. [22] propose the integration of XP with UCD to develop a mobile application of streaming. The integrated process allows to combine the benefits of both and makes it possible to reduce the failures of each since XP needs to know its right end users and finds the answer to those questions in integrating with the UCD.

According to the study of Hussain et al. [22], a comparison between XP and UCD was created to understand the methodologies better and identify at what moments they relate and benefit:

- Both solve different problems, but when comparing values, the two modes of development can benefit each other’s practices.
- One of the practices of XP is to have the customer on site, to give feedback on the system. This practice can be combined with prototype testing with real users as proposed by UCD.
- Constant and extensive tests are the core of XP. Testing with end users is a valuable source (to find potential errors).

- Iterative development happens in both (in different ways).

In this way, they concluded that the XP process combined with the UCD practice due to the iterations of both. The UCD process focuses on users through the design and development of a product. The most significant success cause of an application is user acceptance, as demonstrated by Hussain *et al.* [22].

Salah *et al.* [27] present the Agile User-Centered Design Integration (AUCDI) model. The AUCDI is based on some processes achieved through the implementation of a set of practices perceived as subtasks of a process. These processes are UCD planning, user analysis, task analysis, identification and understanding of user needs, identification and understanding of UI design requirements, light documentation of synchronization among UCD practitioners and developers, interaction design, user task design, and usability evaluation. The AUCDI process involves customers, users, developers, UCD and XP professionals. This study is the first found that brings a descriptive Maturity Model in the subject.

Humayoun *et al.* [23] present a framework to join the UCD philosophy into an agile process through a three-level integration. One of the challenges in software development is to engage end users in the design and development stages to efficiently collect and analyze behavior and feedback and follow development accordingly. UCD is used in software projects with the goal of increasing product usability, reducing the risk of failure, lowering long-term costs and increasing quality in general. The UCD philosophy puts the end user in the center.

The framework proposed by Humayoun *et al.* [23] presents a form that emphasizes a firm integration in which ideas are combined at all levels. Agile methods and user-centered design processes differ in nature and are developed in different environments and disciplines. The levels covered are life cycle level, iteration level and level of the development environment.

The case study conducted by Humayoun *et al.* [23] is applied in six development teams, performing an application called FTSp. Each team developed its version of the same application. A total of 12 experiments were conducted for evaluation. Among the comments, they mentioned the excellent collaboration between the team and the participants, the benefits of recognizing new problems that had not been seen before.

In the other case study also by Humayoun *et al.* [23], six teams developed the software design using agile methods, using TaMULator to evaluate the developed project. The final evaluation was a quality test, with satisfaction levels of 1 to 5, where five was very satisfied. Thirty-two team members responded, and the average grade was high. Team members referred to the importance of learning and dealing with usability as it develops. The importance of developing a framework to integrate the user-centered design philosophy into agile practices is that the framework promotes a set of attributes to select and evaluate the methods at each iteration.

According to Da Silva *et al.* [26], UCD uses a lot of time and effort in research and analysis before the beginning of development, and the agile methods are dedicated to delivering small parts of the functionalities in each iteration. Both are

iterative, and customer focused. The authors show that the UX can show the success or failure of the product. In this work, the first designs stages were very detailed without a need for it, and the change of scope can lead to a waste of perfection of worked design. Some problems with the design will only be met when the implementation begins. Very “Pixel Perfect” design can increase resistance to changes. Design quality can benefit since the developer with knowledge in the platform presents its style guides to the design.

Overall, the integration of UX design and agile development is always a challenge, no matter which agile method is used, bringing advantages and disadvantages.

From the reviewed studies, advantages and disadvantages are shown in the Table II, while the challenges are shown in the Table III. The most significant problems in Agile UX were lack of cooperation between the UX experts and developers, and the lack of time stipulated for UX design. It is essential to understand the whole problem and the concept of creation before starting the development of a project.

Kuusinen *et al.* [18] bring the state of the art of agile UX into a multi-continental software development organization. The research showed that most of the problems related to communication.

Kuusinen *et al.* [18] explain that results of the application of agile methods with UX are not conclusive in that the organizational part is addressed rather than methodological issues. Consequently, further research in this field is needed in order to perfect the agile methods to improve UX related issues. There is a clear need for more UX studies integrating with agile development. Therefore, they conclude that there is a need to study more to understand the best working practices of Agile UX.

IV. CONCLUSIONS

In this review, we mapped 13 studies that prove the challenges in the Web interface development using agile methods with UX and UCD.

The selected studies answered the two research questions addressing agile methods and its integration among UX and UCD, in addition to the challenges, advantages, and disadvantages in this integration.

The obtained result provides a mapping for future research integrating agile methods for the Web interface development considering the user experience.

There are many agile methods, each one with its peculiarities, but it is concluded that the methods that integrate better with UX or UCD are Scrum and XP. It is notable that there has been an advance in the agile methods application and Web applications development, however, there is a deficiency in choosing the right method that meets the expectations.

There is a clear need for more UX studies integrating with agile development. Therefore, we conclude that there is a need to study more to understand the best working practices of Agile UX.

Finally, as a continuation of this research, based on the results of this systematic review, it is to verify how the integration of agile software development by small teams with

TABLE II
ADVANTAGES AND DISADVANTAGES RELATED TO THE INTEGRATION OF AGILE METHODS WITH UX OR UCD.

	Feature	Description	Studies
Advantages	Productive Meetings	Fast and focused.	Gordillo et al. [13] Rivero et al. [5]
	Clean Method	Easy to understand.	Gordillo et al. [13] Felker et al. [24]
	Focus on the project	Value in the business and focus on customer value deliveries.	Gordillo et al. [13] Carlson and Turner [25] Plonka et al. [16]
	Target on projects	Manageable sprints with short cycles.	Gordillo et al. [13] Carlson and Turner [25] Plonka et al. [16]
	Reduction of Errors	Analysis of Sprints enables continuous feedback. Identifying errors so they do not recur.	Felker et al. [24] Plonka et al. [16]
	Use of Mockups	Increased efficiency in collecting requirements.	Rivero et al. [5] Carlson and Turner [25]
	Sprint planning	Know the next tasks.	Felker et al. [24]
	Continuous improvement	Transparency and Trust generates progressive improvement.	Rivero et al. [5]
	Shared vision	Dynamic teams and collaborative work.	Carlson and Turner [25] Plonka et al. [16]
	Manage knowledge Retrospectives are positive	Organizational Learning. Analyze positives and negatives.	Dingsøyr et al. [4] Gordillo et al. [13] Felker et al. [24]
Disadvantages	Lack of cooperation between UX experts and developers	Share information, knowledge regarding the project.	Kuusinen et al. [18]
	Have instructor in agile methods	Initially have an instructor to “teach” the agile process, to facilitate acceptance.	Carlson and Turner [25]

TABLE III
CHALLENGES RELATED TO AGILE METHODS AND USER-CENTERED DESIGN (UCD).

Challenge	Description	Studies
Bring teams closer	Bring closer teams with diverse skills and roles.	Carlson and Turner [25]
Large teams	Distribution and job management become more complicated.	Carlson and Turner [25]
Organizational change	Understanding agile culture.	Carlson and Turner [25]
Conservative culture	Professionals resist “exposing” their work (fear of losing status).	Carlson and Turner [25]
Not enough time for UX design.	Delayed design causes delay in implementation.	Kuusinen et al. [18]
Understand the problem in context	Understand the business and what the customer needs.	Kuusinen et al. [18]
Communication between developers and UX design	Maintain communication channels. What information, how and when to communicate it.	Plonka et al. [16] Kuusinen et al. [18]
Developers and designers have different perspectives and objectives	Different skills and knowledge.	Plonka et al. [16]
Design accuracy level	Very detailed initial design with no need.	Plonka et al. [16]
Embedding UX design functionality	Meet user’s expectations.	Plonka et al. [16] Felker et al. [24]

a turnover. For this integration we will consider the user experience, that is a challenge due to the need to understand how UX and the UCD can be incorporated into agile development processes into university research groups where the team is in the process of academic training.

REFERENCES

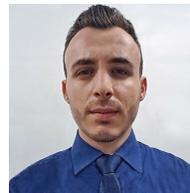
- [1] M. K. Alqudah and R. Razali, “Key factors for selecting an agile method: A systematic literature review,” *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 7, no. 2, p. 526, 2017.
- [2] S.-W. Chuang, T. Luor, and H.-P. Lu, “Assessment of institutions, scholars, and contributions on agile software development (20012012),” *Journal of Systems and Software*, vol. 93, pp. 84–101, 2014.
- [3] R. Hoda, N. Salleh, J. Grundy, and H. M. Tee, “Systematic literature reviews in agile software development: A tertiary study,” *Information and Software Technology*, vol. 85, pp. 60–70, 2017.
- [4] T. Dingsøyr, S. Nerur, V. Balijepally, and N. B. Moe, “A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development,” *Journal of Systems and Software*, vol. 85, no. 6, pp. 1213 – 1221, 2012.
- [5] J. M. Rivero, J. Grigera, G. Rossi, E. R. Luna, F. Montero, and M. Gaedke, “Mockup-driven development: Providing agile support for model-driven web engineering,” *Information and Software Technology*, vol. 56, no. 6, pp. 670 – 687, 2014.
- [6] K. Rodden, H. Hutchinson, and X. Fu, “Measuring the user experience on a large scale,” in *Proceedings of the 28th international conference*

- on Human factors in computing systems - CHI'10*. ACM Press, 2010.
- [7] J. Nielsen and R. Budiu, *Mobile usability*. MITP-Verlags GmbH & Co. KG, 2013.
- [8] J. J. Garrett, *The Elements of user experience: user-centered design for the web and beyond*. New Riders, 2010.
- [9] ISO, "9241-210: 2010. ergonomics of human system interaction-part 210: Human-centred design for interactive systems," *International Standardization Organization (ISO)*. Switzerland, 2009.
- [10] L. A. Rojas and J. A. Macías, "An agile information-architecture-driven approach for the development of user-centered interactive software," in *Proceedings of the XVI International Conference on Human Computer Interaction*, ser. Interacción '15. New York, NY, USA: ACM, 2015, pp. 1–8.
- [11] D. Salah, R. F. Paige, and P. Cairns, "A systematic literature review for agile development processes and user centred design integration," in *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering - EASE '14*. ACM Press, 2014.
- [12] G. Changyuan, W. Shiyang, and Z. Chongran, "Research on user experience evaluation system of information platform based on web environment," in *Proceedings of 2013 2nd International Conference on Measurement, Information and Control*, vol. 01, Aug 2013, pp. 558–562.
- [13] A. Gordillo, E. Barra, S. Aguirre, and J. Quemada, "The usefulness of usability and user experience evaluation methods on an e-learning platform development from a developer's perspective: A case study," in *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, Oct 2014, pp. 1–8.
- [14] E.-M. Schön, J. Thomaschewski, and M. a José Escalona, "Agile requirements engineering: A systematic literature review," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 49, pp. 79 – 91, 2017.
- [15] S. Chamberlain, H. Sharp, and N. Maiden, "Towards a framework for integrating agile development and user-centred design," in *Extreme Programming and Agile Processes in Software Engineering*, P. Abrahamsson, M. Marchesi, and G. Succi, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 143–153.
- [16] L. Plonka, H. Sharp, P. Gregory, and K. Taylor, "Ux design in agile: A dsdm case study," in *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming*, G. Cantone and M. Marchesi, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 1–15.
- [17] Z. Hussain, W. Slany, and A. Holzinger, "Current state of agile user-centered design: A survey," in *HCI and Usability for e-Inclusion*, A. Holzinger and K. Miesenberger, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 416–427.
- [18] K. Kuusinen, T. Mikkonen, and S. Pakarinen, "Agile user experience development in a large software organization: Good expertise but limited impact," in *Human-Centered Software Engineering*, M. Winckler, P. Forbrig, and R. Bernhaupt, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 94–111.
- [19] R. Sampaio and M. Mancini, "Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica," *Revista Brasileira de Fisioterapia*, vol. 11, no. 1, pp. 83–89, feb 2007.
- [20] D. Budgen and P. Brereton, "Performing systematic literature reviews in software engineering," in *Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering*, ser. ICSE '06. New York, NY, USA: ACM, 2006, pp. 1051–1052.
- [21] C. M. d. C. Santos, C. A. d. M. Pimenta, and M. R. C. Nobre, "The PICO strategy for the research question construction and evidence search," *Revista latino-americana de enfermagem*, vol. 15, no. 3, pp. 508–511, 2007.
- [22] Z. Hussain, M. Lechner, H. Milchrahm, S. Shahzad, W. Slany, M. Umgeher, and P. Wolkerstorfer, "Agile user-centered design applied to a mobile multimedia streaming application," in *HCI and Usability for Education and Work*, A. Holzinger, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 313–330.
- [23] S. R. Humayoun, Y. Dubinsky, and T. Catarci, "A three-fold integration framework to incorporate user-centered design into agile software development," in *Human Centered Design*, M. Kurosu, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 55–64.
- [24] C. Felker, R. Slamova, and J. Davis, "Integrating ux with scrum in an undergraduate software development project," in *Proceedings of the 43rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, ser. SIGCSE '12. New York, NY, USA: ACM, 2012, pp. 301–306.
- [25] R. Carlson and R. Turner, "Review of agile case studies for applicability to aircraft systems integration," *Procedia Computer Science*, vol. 16, pp. 469 – 474, 2013, 2013 Conference on Systems Engineering Research.
- [26] T. S. da Silva, M. S. Silveira, C. de O. Melo, and L. C. Parzianello, "Understanding the ux designer's role within agile teams," in *Design, User Experience, and Usability. Design Philosophy, Methods, and Tools*, A. Marcus, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 599–609.
- [27] D. Salah, R. Paige, and P. Cairns, "A maturity model for integrating agile processes and user centred design," in *Software Process Improvement and Capability Determination*, P. M. Clarke, R. V. O'Connor, T. Rout, and A. Dorling, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 109–122.
- [28] T. Lowdermilk, *User-centered design: a developer's guide to building user-friendly applications*. " O'Reilly Media, Inc.", 2013.

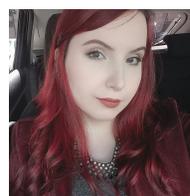
Jucélia Giacomelli Beux Graduated in Administration with Emphasis in Systems Analysis from Associates Faculties of So Paulo (FASP-SP). Currently is academic of Professional Master's Degree in the Graduate Program in Applied Computing (PPGCA) of the Institute of Exact Sciences and Geosciences of the University of Passo Fundo. Interested in the areas of agile methods, human-computer interaction, software analysis, and design.



Ericles Andrei Bellei Graduated in Systems Analysis and Development at the Federal University of Technology - Paran (UTFPR), Pato Branco's Campus (2016). Currently is academic of Professional Master's Degree in the Graduate Program in Applied Computing (PPGCA) of the Institute of Exact Sciences and Geosciences of the University of Passo Fundo. Interested in the areas of programming for mobile devices, human-computer interaction, software analysis, and design.



Lais Andressa Brock Graduated at Computer Science of University of Passo Fundo (2013). Currently is academic of Professional Master's Degree in the Graduate Program in Applied Computing (PPGCA) of the Institute of Exact Sciences and Geosciences of the University of Passo Fundo. Interested in the areas of human-computer interaction, software analysis, and design.



**Ana Carolina Bertoletti De Marchi**

Graduated at Bachelor in Informatics of Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul (1995), Masters in Computer Science from the Federal University of Rio Grande do Sul (1997), and Ph.D. in Education on Informatics from the Federal University of Rio Grande do

Sul (2006). She is currently titular professor of the University of Passo Fundo, is professor of Graduate Program in Applied Computer and of ungraduated course of Computer Science. Has to experience in the area of Computer Science, with an emphasis on human-computer interaction, application development for cognitive training, aging and assistive technologies.



Carlos Amaral Hölbig Graduated in Data Processing Technology in the Catholic University of Pelotas (1993), Masters in Computer Science from the Federal University of Rio Grande do Sul (1996) and Ph.D. in Computer Science from the Federal University of Rio Grande do Sul (2005) with a doctor stage

in Bergische Universitt Wuppertal sandwich (Germany) of the 2002/08 to 2003/03. He is currently titular professor of the University of Passo Fundo, is professor of Graduate Program in Applied Computer and of ungraduated courses of Computer Science and Computer Engineering. Has to experience in the area of Computer Science, with an emphasis on Scientific Computing, acting on the following subjects: scientific computing, high-performance environments, embedded systems, and computational modeling and simulation.

Hacia un nuevo paradigma en la investigación científica universitaria desde una epistemología feminista, un espíritu creativo, crítico y ético, y el conocimiento como bien común

Towards a new paradigm in university scientific research from a feminist epistemology, a creative, critical and ethical spirit, and knowledge as a common good

Rueda López, Ramón

Resumen— Las Universidades, especialmente las Universidades públicas, representan una de las más importantes instituciones desde las que inducir la transformación y el progreso social capaces de superar los retos actuales de la humanidad. Esto no sólo es consecuencia de su función educadora en valores y principios éticos, sino también, y esto es lo que constituye el objeto de estudio de este artículo, por su función en cuanto a la creación de conocimiento.

Este conocimiento, como quedará expuesto, debería estar abierto a la diversidad de pensamiento y de cosmovisiones y fundado, entre otros, desde tres pilares como son, 1) una epistemología feminista, 2) la recuperación de un espíritu creativo, crítico y ético, y 3) la concepción del conocimiento, en sí mismo, como bien común, haciendo posible la búsqueda de interpretaciones, alternativas y soluciones a los problemas humanos más allá del marco epistemológico hegemónico.

Tras la revisión bibliográfica que ofrecerá una aproximación a las principales aportaciones en el ámbito del pensamiento y las epistemologías críticas, se abordará el estudio de los tres pilares propuestos sobre los que se podría comenzar a fundamentar un nuevo paradigma epistemológico para las Universidades.

Palabras clave: *epistemología, responsabilidad social de la Universidad, investigación científica, género, bien común.*

Abstract— Universities, especially public universities, represent one of the most important institutions from which to induce transformation and social progress capable of overcoming the current challenges of humanity. This is not only a consequence of its educational role in values and ethical principles, but also, and this is what constitutes the object of study of this article, for its role in the creation of knowledge.

This knowledge, as it will be exposed, should be open to the diversity of thought and cosmovisions and founded, among others, from three pillars such as: 1) a feminist epistemology, 2) the recovery of a creative, critical and ethical spirit, and 3) the conception of knowledge, in itself, as a common good, making possible the search for interpretations, alternatives and solutions to human problems beyond the hegemonic epistemological framework.

After the bibliographic review that will offer an approach to the main contributions in the field of critical thinking and epistemologies, the study of the three proposed pillars on which a new epistemological paradigm for Universities could begin will be addressed.

Keywords: *epistemology, social responsibility of the University, scientific research, gender, common good.*

I. INTRODUCCIÓN

Nadie pone en duda que la investigación, la creación de conocimiento o el pensamiento, son el sostén del progreso humano: uno de los instrumentos más poderosos para satisfacer y alcanzar las expectativas sociales.

Article history:

Received 13 August 2018

Accepted 08 November 2018

El autor pertenece al área de Organización de Empresas del Departamento de Economía Aplicada, Estadística, Investigación Operativa y Organización de Empresas de la Universidad de Córdoba. Córdoba, España (e-mail: d82rulor@uco.es)

Sin embargo, el binomio investigación-progreso puede tener diferentes interpretaciones y orientaciones, tan ricas como contradictorias, que pueden resumirse en las interrogantes formuladas por Noam CHOMSKY en cuanto a la investigación, «conocimiento para qué» y «conocimiento para quién» [1].

Desde la hegemonía de pensamiento neoliberal, las respuestas ofrecidas a estas interrogantes han sido dadas de acuerdo a la doctrina capitalista —para ganar y acumular cada vez más capital— y a los intereses de un determinado sujeto dominante —aquel que es adulto, blanco, varón y que ha recibido una educación de carácter burguesa—.

Esto ha sido posible gracias a que la creación del conocimiento necesario, a que la investigación se ha sustentado sobre una epistemología androcéntrica, que ha colonizado otros espacios de conocimiento y que, en la última fase del capitalismo tardío, ha consagrado la racionalidad cognitivo-instrumental de la ciencia y la tecnología, preteriendo otras áreas y disciplinas de conocimiento.

Un modelo en el que “se niega el carácter racional a todas las formas de conocimiento que no se pautaran por sus principios epistemológicos y por sus reglas metodológicas” [2] y, en el que como Sandra HARDING describe, el proceso investigador está caracterizado por un inmovilismo en el que “la preocupación por definir y mantener una serie de dicotomías rígidas en la ciencia y en la epistemología ya no parece un reflejo del carácter progresista de la investigación científica, sino que está inextricablemente relacionada con necesidades y deseos específicamente masculinos —y quizá exclusivamente occidentales y burgueses—” [3].

En su conjunto, esta epistemología ha dado lugar a una sabiduría convencional —conviene recordar que por esta sabiduría se entiende aquella que no cuestiona, que no es crítica y que parece tan sólo tratar de confirmar la verdad de ella misma, convirtiéndola en un fin en sí mismo más que un medio [4]— que, a su vez, ha entronizado lo que SAMPEDRO llamó las tres diosas del capitalismo: innovación, productividad y competitividad [5]. Repitiéndose como un mantra, estas diosas del capitalismo, se divulgan por las aulas y los departamentos universitarios, orientando y enmarcando la función investigadora de las universidades en, y para al mercado.

Como Martín RODRIGUEZ ROJO y Mariano GUTIÉRREZ TAPIAS sostiene “lo que ha fallado no ha sido el desinterés del «alma mater» por la sociedad, sino el identificar ésta con la parte más favorecida de aquella, en favor de la cual la Universidad se ha desvivido secularmente, mientras ignoraba institucionalmente, y por regla general, a los estratos más bajos de la sociedad civil” [6].

Frente a esto lo que se pretende, por tanto, es formular un nuevo paradigma de investigación científica que, particularmente desde las universidades públicas, permita ofrecer a las preguntas «conocimiento para qué» y «conocimiento para quién» respuestas capaces de superar los problemas complejos y la crisis civilizatoria a los que se enfrenta toda la humanidad: un conocimiento con y para toda la sociedad al servicio del bien común.

Esto lleva, por tanto, a la necesidad de definir un cambio de paradigma en la investigación científica universitaria que

cuestione la epistemología hegemónica y su sabiduría convencional. Boaventura do Sousa SANTOS aborda en profundidad este propósito en algunas de sus obras, destacando la titulada *Una epistemología del Sur* en la que sostiene que el reto es reconocer “...la existencia de una pluralidad de conocimientos más allá del conocimiento científico. Esto implica renunciar a cualquier epistemología general. A lo largo del mundo, no solo hay muy diversas formas de conocimiento de la materia, la sociedad, la vida y el espíritu, sino también muchos y muy diversos conceptos de lo que cuenta como conocimiento y de los criterios que pueden ser usados para validarlo” [2].

Reconstruir, por tanto, el paradigma científico, dotarlo de un sentido inclusivo e integrador de los conocimientos, hasta ahora, preteridos o excluidos por el pensamiento y paradigma científico dominante [7], otorga sentido al compromiso social o, si se prefiere, a la responsabilidad social de la universidad en cuanto a su función investigadora.

En este sentido las universidades deberían constituir lo que SANTOS identifica con un espacio de investigación-acción. En este espacio la definición y ejecución participativa de proyectos de investigación debería involucrar no sólo a sectores económicos y empresariales, sino también a grupos y organizaciones sociales. Se conseguiría así, que los intereses sociales estuvieran articulados con los intereses científicos y la creación de conocimiento científico ligada a la satisfacción de necesidades y expectativas de los grupos sociales “que no tienen poder para poner el conocimiento técnico y especializado a su servicio a través de la vía mercantil” [8].

Con todo, frente a la hegemonía de la sabiduría convencional, el propósito es construir desde la universidad una epistemología plural del conocimiento o, como el propio SANTOS llama, una «ecología de saberes» desde la que promover “una nueva convivencia activa de saberes con el supuesto de que todos ellos, incluido el saber científico, se pueden enriquecer en ese diálogo. [Esto] Implica una amplia gama de acciones de valoración, tanto del conocimiento científico como de otros conocimientos prácticos considerados útiles, compartidos por [personal investigador, alumnado y ciudadanía], sirve de base para la creación de comunidades epistémicas más amplias que convierten a la universidad en un espacio público de interconocimiento donde la ciudadanía pueda intervenir sin la posición exclusiva de aprendices” [8].

Aquí y ahora no se pretende definir, en su totalidad, esta epistemología plural o de la «ecología de saberes». Para ello SANTOS ha propuesto un programa de investigación formulado sobre tres dimensiones relacionadas cada una de ellas con: 1) la identificación de saberes, 2) los procedimientos para relacionar unos con otros, y 3) la naturaleza y evaluación de las intervenciones del mundo real posibilitadas por ellos. Cada una de estas dimensiones dan lugar a diferentes interrogantes en las que el concurso colectivo u solidario, para construir esta epistemología plural resulta crucial [2].

Dicho esto, lo que se pretende en este momento es aportar a esta construcción colectiva algunos criterios y saberes mínimos, aquellos que pueden representar el mínimo común denominador en el análisis y el diagnóstico de cualquier

realidad.

Los saberes expuestos a continuación, complementarios entre sí y con otros como por ejemplo las epistemologías o paradigmas indígenas [9], deberían, eso sí, ser considerados como parte indispensable en el debate sobre la tercera de las dimensiones antes señalada, tratando, así, de dar respuesta a las preguntas que de ella se desprende: “¿cómo podemos identificar la perspectiva de las personas oprimidas en las intervenciones del mundo real en cualquier resistencia a ellas? ¿Cómo podemos traducir esta perspectiva en prácticas de conocimiento? En la búsqueda de alternativas de dominación y opresión, ¿cómo podemos distinguir entre alternativas al sistema de opresión y dominación y alternativas dentro del sistema? o, más específicamente ¿cómo distinguimos entre alternativas al capitalismo y alternativas dentro del capitalismo?” [2].

II. UNA EPISTEMOLOGÍA FEMINISTA.

La primera de las características de esta pluralidad de conocimiento o «ecología de saberes» es la ruptura radical — en el sentido etimológico del término— con el androcentrismo del proceso investigador. Así, la investigación científica debe abandonar aquellas bases desde las que históricamente se han justificado y posibilitado la invisibilización del cincuenta por ciento de la población, las mujeres.

Como sostiene Amparo MORENO SARDÁ, “...la exclusión de las mujeres de las explicaciones académicas y el menosprecio de sus aportaciones forman parte del discurso de una institución universitaria que, desde la Edad Media, como hemos visto, expulsó a las mujeres y a hombres de otras culturas, y limitó el acceso a los varones adultos cristianos. De esta praxis excluyente se derivó una epistemología y un discurso también excluyentes para legitimar la praxis” [10].

Esta realidad lleva a invocar una nueva epistemología en la que, como sostiene Amelia SANCHIS VIDAL, lo masculino abandone su condición de referente del ser humano, que persigue ir más allá “...haciendo una puesta en valor por investigaciones que contemplen otras formas de investigar más inclusivas y diversas, a imagen y semejanza del ser humano: concepciones subjetivas, valores políticos, cosmovisiones profanas, sentimientos o emociones” [11].

Resulta necesaria, por tanto, una epistemología en la que el sesgo masculino presente en el proceso investigador, tanto en la etapa en la que se identifican y definen los problemas científicos, como en el diseño de la investigación y en la recopilación e interpretación de datos, quede eliminado.

Conseguir esto implica introducir en la investigación científica lo que podría definirse como unos rasgos metodológicos —ya que muestran la manera en la que aplicar la estructura general de la teoría científica a la investigación sobre las mujeres y el género— o unas características epistemológicas —porque implican teorías del conocimiento diferentes de las tradicionales—. Rasgos o características que, como propone HARDING, podrían ser las siguientes: 1) Reconocer la importancia de las experiencias femeninas como recurso para el análisis social, siendo las mujeres quienes deben revelar por vez primera cuáles son y han sido las experiencias

femeninas; 2) ofrecer a las mujeres explicaciones y conclusiones de los fenómenos sociales que ellas quieren y necesitan, y no en aportar respuestas a las expectativas planteadas desde ámbitos institucionales o profesionales; 3) situar a la persona investigadora en el mismo plano crítico que el objeto explícito de estudio, es decir, poner de manifiesto el género, la raza, la clase y los rasgos culturales del investigador y, si es posible, la manera como ella o él sospechan que todo eso haya influido en el proyecto de investigación. De esta manera, quien investiga se presenta no como la voz invisible y anónima de la autoridad, sino como individuo real, histórico, con deseos e intereses particulares y específicos [12].

Se trata, por tanto, además de fomentar la presencia de mujeres en el ámbito investigador, y de impulsar y propiciar la investigación de género en los ámbitos académicos —como así se reclama desde múltiples instancias nacionales e internacionales—, de asumir, definitivamente, que el objeto de la investigación, cuando está relacionado con lo humano, no sólo es cosa de hombres, sino de seres humanos, mujeres y hombres en su conjunto, y como tal hay que considerarlo en el proceso investigador. Lo contrario es perpetuar un orden social que, tradicionalmente, invisibiliza a las mujeres.

III. RECUPERAR EL ESPÍRITU CREATIVO, CRÍTICO Y ÉTICO.

Por otro lado, la investigación, en general, y la investigación universitaria, en particular, han experimentado un proceso de domesticación en el que, quizás, uno de los factores más relevantes haya sido la confusión entre creatividad e innovación.

La primera representa la capacidad que el proceso investigador debe tener para, desde su sentido crítico e inventivo, idear nuevas formas, métodos y técnicas para la solución de problemas en cualquier terreno imaginable, social, tecnológico, industrial, económico, medioambiental, educativo,...[13] La segunda, desde una perspectiva práctica y aplicada, persigue idear nuevas formas y métodos para hacer de aquello que ya se conoce algo más eficaz y eficiente, tanto desde el punto de vista de su producción como de su uso, generando así mayores rentabilidades y beneficios.

Sin duda, ambas deben formar parte del proceso investigador, no pudiéndose comprender el concurso de la una sin la otra.

Sin embargo, bajo la mercantilización de las relaciones humanas, bajo el imperio de la racionalidad cognitivo-instrumental de la ciencia y la tecnología lo que se ha provocado ha sido el triunfo o, si se prefiere, el protagonismo de la innovación tecnológica, entendida ésta como “el conjunto de etapas científicas, tecnológicas, organizativas, financieras y comerciales, incluyendo las inversiones en nuevos conocimientos, que llevan o que intentan llevar a la implementación de productos y de procesos nuevos o mejorados” [14]. Las expectativas sociales, la emancipación humana, el progreso, como en reiteradas ocasiones se han señalado, han sido dejados en manos del desarrollo científico y económico, preteriendo aspectos tan relevantes para los mismos propósitos como el desarrollo humano y social [15].

La creatividad, así, ha sido subordinada a la innovación

tecnológica. En otras palabras, aquella creatividad cuyas ideas no derivan en una rentabilidad financiera, comercial y de las inversiones realizadas en el ámbito tecnológico, difícilmente gozarán del protagonismo necesario para ser implementadas; mucho menos si esta creatividad se orienta a poner en cuestionar el orden social neoliberal y su sabiduría convencional.

Así y de acuerdo a lo que se está planteando, el progreso humano, entendido como la ampliación de los horizontes de emancipación del género humano, no puede quedar exclusivamente en manos de un modelo de desarrollo científico-tecnológico subordinado a los intereses del mercado.

Esta es la situación que se debe subvertir. En primer lugar la investigación científica debería recuperar, urgentemente, su esencia crítica. En el apartado primero del capítulo segundo se abordó en detalle la noción y efectos de la neutralidad o imparcialidad que, desde POPPER, se ha otorgado al método científico. Sin embargo, esta pretendida neutralidad ha provocado, por citar un ejemplo relevante, que los problemas específicos de las mujeres, como ha sido abordado, hayan sido invisibilizados [16] durante décadas o que, de manera más amplia, haya sido la excusa perfecta para validar y hacer hegemónico un determinado orden social [17, 18].

En contra de esta neutralidad se debe argumentar que “la actividad científica es una actividad social como cualquiera, ni neutral ni inocente que afecta a la ciudadanía global en su totalidad y que requiere del pluralismo y la racionalidad de la academia como garantía de transparencia y libertad” [19].

La investigación científica, por tanto, debería volver a recuperar los valores que la razón instrumental le hizo abandonar. La ética, y como se viene sosteniendo a lo largo de todo este capítulo, la ética cosmopolita de mínimos, frente a la ética individualista, debería ser asumida por la investigación científica como parte insoslayable de ella misma.

Desde esta razón ética cosmopolita, y en sintonía con la pluralidad o «ecologías de saberes» que se viene reclamando, es desde donde sería posible reconocer otras cosmovisiones, sagradas y profanas, otras alternativas de vida, para, así, considerar “no sólo imágenes más complejas del mundo, sino modos de conocimiento que permitan una mejor comprensión y representación de la vida misma” [20].

En este conocimiento las ciencias sociales juegan un papel determinante. En este sentido, las palabras pronunciadas por Federico MAYOR ZARAGOZA pueden resultar un buen ejemplo para no olvidar el valor que las mismas tienen en el propósito de crear un nuevo horizonte para el progreso humano: “ningún otro campo del conocimiento podría contribuir tan decisivamente a construir un puente entre la reflexión y la visión de los asuntos humanos, de una parte, y a la formulación de políticas y la puesta en marcha de acciones para mejorar la calidad de vida de los seres humanos, de otra” [21].

También las palabras de Rigoberta MENCHÚ TUM son relevantes para ilustrar este nuevo horizonte creativo: “hay una misión para la humanidad en general; que todo lo que construyamos haga innovación, pero no innovación por el acaparamiento de los conocimientos humanos; sino para que resuelva problemas, luchas contra la discriminación, contra el

racismo” [22].

IV. EL CONOCIMIENTO COMO BIEN COMÚN.

Aunque desde las Universidades son muchos los esfuerzos dirigidos a la creación de conocimiento al servicio del bien común y del progreso y el bienestar humano, lo cierto es que, la eclosión del neoliberalismo como corriente hegemónica, ha provocado que, poco a poco, la misión de la Universidad transite por un rumbo determinado [23].

En este sentido, en lo que puede ser llamado el mercado mundial de la ciencia y la tecnología, sólo las personas capaces de financiar una investigación, o de comprar los beneficios que el mismo reporta, son las únicas beneficiarias por el avance que representa el nuevo conocimiento. En otras palabras, el conocimiento, su creación y los resultados que se desprenden de su aplicación, se ha convertido en un elemento privativo [24].

Esta mercantilización del conocimiento es la que ha permitido, junto a otras, el drama que representa que la investigación destinada a superar los problemas que afectan a la humanidad sea impulsada, fundamentalmente, en función de la rentabilidad económica y financiera que reporta, nunca en función de su rentabilidad social o de la solución del problema en sí mismo.

Un buen ejemplo de esto, como ya se expuso, es en el ámbito de la industria médica y farmacéutica, donde, por citar tan sólo un ejemplo, se destinan importantes recursos a las investigaciones para acabar con la obesidad que afecta a gran parte de la población de los países del centro, mientras que el hambre afecta a millones de personas en todo el planeta, no sólo en los países de la periferia, sino también en los primeros. Es decir, de las dos caras que ofrece la malnutrición, obesidad y hambre, se da prioridad a resolver el primero de los problemas que es el que afecta, fundamentalmente, a los países del centro. No en vano, ya desde la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) se presta más atención al daño que puede provocar la obesidad que el causado por el hambre [25].

Sin embargo, creer en la posibilidad de que el progreso humano puede estar al margen de los mercados y que, como se ha sostenido, debería orientarse a la creación y ampliación de las expectativas de emancipación de toda la humanidad, lleva, a considerar el conocimiento y su creación desde una nueva óptica.

Así, desde los estudios de Charlotte HESS y Elinor OSTROM, es posible considerar el conocimiento como un recurso —entendido desde la pluralidad de saberes antes señalada— que toda la humanidad puede compartir con el fin común de responder a los dilemas y problemas sociales a los que nos enfrentamos [26]. Así considerado, el conocimiento, frente a la condición privativa que el neoliberalismo le ha reservado, adopta otro carácter, el de bien común que, a su vez, en el marco de la sociedad global del conocimiento en el que las Universidades se desenvuelven adquiere la condición de bien común mundial como sugiere la UNESCO [27].

Desde esta perspectiva, lo que también se está cuestionando es un modelo de desarrollo economicista, y dentro de él la

investigación y la creación de conocimiento, que pone su foco en el crecimiento del Producto Interior Bruto (PIB) de una economía y en las cifras de negocio de las empresas. Hoy, más que nunca, con el propósito de alcanzar un orden social fundado en la justicia social, es necesario otro modelo de desarrollo que sitúe a las personas en el centro de su atención [28].

El conocimiento como bien común debería ser convocado a este propósito. Conseguir esto, como ya señalara en el año 2001 el PNUD en su Informe sobre Desarrollo Humano correspondiente a aquel año, requiere dos medidas: más financiación pública empleada de nuevas formas y, sobre todo, reconsiderar y reevaluar la finalidad de los derechos de propiedad —patentes, *copyright*, propiedad intelectual...— establecidos por la legislación nacional e internacional [29].

Con la primera de estas medidas, en el caso de las Universidades públicas como centros dedicados a la investigación y la creación de conocimiento, como ya se expuso, se garantiza el derecho fundamental a la autonomía universitaria. Desde ella, atendiendo a su pertinencia social, las universidades y los centros de investigación podrían desarrollar la capacidad para avanzar en todas aquellas investigaciones que, aún no teniendo un valor para los mercados, sí que pueden tener un importante valor social.

Esto resulta sumamente relevante si realmente se desea apostar por la búsqueda de nuevas formas de organizar, por ejemplo, las relaciones económicas entre las personas y su entorno a fin de alcanzar mayores niveles de igualdad y bienestar social. Así, frente a la investigación en modelos y sistemas que, aún desde el principio de sostenibilidad, persiguen incrementar la productividad económica gracias, exclusivamente, a los avances científico-tecnológicos y donde lo que impera es el «aún más» individual, por qué no investigar sobre aquellas otras opciones que se inclinan por modelos en los que priman la idea de que «con menos se puede vivir mejor» [30]. Estos modelos, fundados sobre la idea del decrecimiento sostenible, persiguen “una reducción equitativa de los niveles de producción y consumo que permita aumentar el bienestar humano y mejorar las condiciones ecológicas tanto a nivel local como global, en el corto y en el largo plazo” [30].

Sin pretender, en este momento, profundizar en el debate acerca del decrecimiento sostenible, se podría afirmar que el mismo trata, en definitiva, de invertir el sentido de la economía, situando en el centro del debate el sostenimiento de la vida en lugar del crecimiento del consumo, o como Amaia PÉREZ OROZCO sostiene, debe buscar la subversión feminista de la economía [31].

Ante la idea aceptada de que los recursos son finitos, Yayo HERRERO señala que “se decrecerá materialmente por las buenas, es decir de forma planificada y justa, o por las malas, por la vía de que cada vez menos personas, las que tienen poder económico y/o militar sigan sosteniendo su estilo de vida a costa de que cada vez más gente no pueda acceder a los mínimos materiales de existencia digna” [32].

Desde esta idea surge la responsabilidad que las Universidades, en este caso, deberían asumir en cuanto a la investigación acerca de cómo dirigir este decrecimiento. En otras palabras, como en el futuro las sociedades son capaces de

distribuir de manera más justa y equitativa los recursos finitos del planeta. O, como señala PÉREZ OROZCO definir el lugar común al que, como sociedad global, se desea llegar [31]. Este podría constituir un ambicioso programa de investigación científica capaz de crear modelos en los que la creación de conocimiento económico se pone al servicio del bien común y no a la inversa. Llevar a cabo este programa, alternativo a la doctrina de la economía capitalista, sólo será posible bajo el ejercicio pleno del derecho a la autonomía universitaria.

Por otro lado, en cuanto a la segunda de las condiciones señaladas por el PNUD en su Informe, aún cuando ésta responde, casi en exclusividad, al marco que subordina el progreso y el desarrollo humano a los avances científico tecnológicos y como éstos no pueden excluir a las sociedades más retrasadas [29], se debe reconocer que la misma estaba llamada a favorecer la divulgación global de este conocimiento. Aunque no sólo este tipo de conocimiento.

Así, en lugar del conocimiento cerrado —o, por que no decirlo, restringido—, protegido cada vez más por la «*Lex mercatoria*», la apuesta debería ser abrir el conocimiento. Si con los derechos de propiedad —patentes, *copyright*, propiedad intelectual...— se persigue, como así reconoce la doctrina oficial, la competitividad, con el conocimiento abierto lo que se debería promover es la cooperación y la colaboración multilateral en la construcción y definición de la pluralidad de saberes a la que antes se hizo referencia.

El conocimiento abierto no implica la desprotección de la persona o entidad creadora. Con el propósito de garantizar sus derechos creativos fue creada, en ámbito de la programación informática la licencia denominada *copyleft*. Con esta figura Richard STALLMAN, uno de ideólogos de la misma señala lo siguiente: “*Copyleft uses copyright law, but flips it over to serve the opposite of its usual purpose: instead of a means of privatizing software, it becomes a means of keeping software free.*”

The central idea of copyleft is that we give everyone permission to run the program, copy the program, modify the program, and distribute modified versions — but not permission to add restrictions of their own. Thus, the crucial freedoms that define «free software» are guaranteed to everyone who has a copy; they become inalienable rights” [33].

Como lo calificara Charles M. Schweik, “*Copyleft is a critical innovation, for it differs from traditional software licensing in how it allocates the entitlements in copyright, rather than being a replacement of copyright law itself*” [34].

Pero fue en el año 2001 cuando, a partir de la iniciativa «*copyleft*», un grupo de personas investigadoras en el ámbito de los derechos de autor fundaron el proyecto «*Creative Commons*» con el que elaborar una alternativa que, al mismo tiempo que protege la creatividad y los derechos de autor, sea razonable y flexible en comparación con la legislación cada vez más restrictiva del *copyright* [35].

En el año 2002 se publicó la primera versión de las licencias «*Creative Commons*». En la práctica, estas licencias, que en la actualidad alcanzan su cuarta versión, son el resultado de cuatro condiciones fundamentales:

“1ª) Reconocimiento (*Attribution*): En cualquier explotación de la obra autorizada por la licencia hará falta reconocer la autoría.
2ª) No Comercial (*Non commercial*): La explotación de la obra queda limitada a usos no comerciales.

3ª) Sin obras derivadas (*No Derivate Works*): La autorización para explotar la obra no incluye la transformación para crear una obra derivada.

4ª) Compartir Igual (*Share alike*): La explotación autorizada incluye la creación de obras derivadas siempre que mantengan la misma licencia al ser divulgadas” [36].

La combinación, en función de los criterios fijados por quien crea la obra, da como resultado hasta seis tipos de licencias:

“1ª) Reconocimiento (*by*): Se permite cualquier explotación de la obra, incluyendo una finalidad comercial, así como la creación de obras derivadas, la distribución de las cuales también está permitida sin ninguna restricción.

2ª) Reconocimiento–No Comercial (*by-nc*): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.

3ª) Reconocimiento–No Comercial–Compartir Igual (*by-nc-sa*): No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.

4ª) Reconocimiento–No Comercial–Sin Obra Derivada (*by-nc-nd*): No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

5ª) Reconocimiento–Compartir Igual (*by-sa*): Se permite el uso comercial de la obra y de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.

6ª) Reconocimiento–Sin Obra Derivada (*by-nd*): Se permite el uso comercial de la obra pero no la generación de obras derivadas” [36].

Por tanto, frente al carácter restrictivo y exclusivo del copyright diseñado por los organismos reguladores del comercio internacional, destinado, más que a favorecer la competitividad, a facilitar el mercado global del conocimiento la posibilidad está en emplear otras formas jurídicas como las de las licencias «*Creative Commons*».

En el caso de España, el artículo 37 de la Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación dicta algunos mecanismos que deberían ser seguidos por los agentes públicos del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación en cuanto a la difusión en acceso abierto. Sin embargo en el actual contexto de investigación científica caracterizado por el valor de mercado que la creatividad y la innovación alcanzan, el mismo artículo 37, en su apartado 6, representa, a su vez, un paso atrás en la protección del conocimiento como bien común al señalar que todo lo dictado en los puntos previos se entiende “sin perjuicio de los acuerdos en virtud de los cuales se hayan podido atribuir o transferir a terceros los derechos sobre las publicaciones, y no será de aplicación cuando los derechos sobre los resultados de la actividad de investigación, desarrollo e innovación sean susceptibles de protección”.

Desde esta perspectiva, son las universidades, especial y particularmente las públicas, las instituciones que, junto a otros

organismos de investigación públicos, deberían velar por la gestión y la protección del conocimiento como bien común. No sólo por lo que el conocimiento actual representa para el presente y para el futuro, sino también por lo que HESS y OSTROM señalan, en cuanto a la cantidad infinita de conocimiento que está esperando a ser descubiertos. “The discovery of future knowledge is a common good and a treasure we owe to future generations. The challenge of today’s generation is to keep the pathways to discovery open” [26].

V. CONCLUSIONES.

El marco epistemológico neoliberal ha provocado la invisibilización de otras interpretaciones de la realidad y la búsqueda de soluciones a los problemas humanos, bien porque no crea valor de mercado, bien porque es peligroso para su propia supervivencia como orden hegemónico. Este ha sido el caso del conocimiento popular, o de las teorías feministas, casos en los que el pensamiento único, o la sabiduría convencional neoliberal, ha cuestionado la validez y el rigor de las soluciones, hallazgos y alternativas sociales que desde ambos ámbitos nacen. Estas dinámicas, en su conjunto, han mermado la capacidad creativa y crítica de las universidades públicas.

En su caso, en lo que se ha dado en denominar la responsabilidad social de la universidad reside el compromiso que deben asumir las universidades públicas para reconocer la existencia de otras epistemologías capaces de buscar interpretaciones, alternativas y soluciones a los problemas humanos fuera de la sabiduría convencional neoliberal. Se trata, en suma, de recuperar, proteger y poner en valor la pluralidad de conocimientos que la sabiduría convencional neoliberal se ha ocupado en ocultar.

Además, unido a lo anterior, el carácter privativo y competitivo que la creación de conocimiento ha alcanzado en la lógica del capitalismo cognitivo en la que se encuentran las universidades públicas, debe ser reemplazado por aquel otro en el que la misma función sea realizada desde criterios de cooperación y colaboración donde el conocimiento es concebido como un bien común puesto, al servicio del desarrollo humano.

REFERENCIAS

- [1] Chomsky, N., *La responsabilidad social de la universidad*, en *Los límites de la globalización*, N. Chomsky, et al., Editores. 2002, Ariel: España. p. 126-139.
- [2] Santos, B.d.S., *Una epistemología del sur: la reinención del conocimiento y la emancipación social*. Sociología y política. 2009, México: Siglo Veintiuno y CLACSO. 368 p.
- [3] Harding, S.G., *Ciencia y feminismo*. 1996, Madrid: Morata. 239 p.
- [4] Galbraith, J.K., *La sociedad opulenta*. 1 ed. Ariel Sociedad Económica. 2010, Barcelona: Ariel. 323 p.
- [5] Sampedro, J.L., *José Luis Sampedro en diálogo con Olga Lucas. Autobiografía Intelectual: José Luis Sampedro*, en *Conferencias de la Fundación Juan March*. 2011, Fundación Juan March: Madrid.
- [6] Rodríguez Rojo, M. and M. Gutiérrez Tapias, *La formación del alumnado universitario: el Programa Complementa tu Formación (COMFO)*. Revista interuniversitaria de formación del profesorado, 2012(75): p. 81-96.
- [7] Tamayo Acosta, J.J., *Invitación a la utopía. Estudio histórico para tiempo de crisis*. Colección Estructuras y procesos. Serie Religión. 2012, Madrid: Trotta. 1 online resource (302 p.).

- [8] Santos, B.d.S., *La universidad en el siglo XXI. Para una reforma democrática y emancipadora de la universidad*. 2005, Buenos Aires: Miño y Dávila. 83.
- [9] Iño Daza, W.G., *Epistemología pluralista, investigación y descolonización: aproximaciones al paradigma indígena*. RevIISE: Revista de Ciencias Sociales y Humanas, 2017. 9(9): p. 111-125.
- [10] Moreno Sardá, A., *Mujeres y Ciencia: de la negación y la invisibilidad, a las aportaciones para la renovación de las Humanidades y las Ciencias Sociales en la era digital*, en *Investigaciones actuales de las mujeres y del género*, R. Radl Philipp, Editor. 2010, Universidade de Santiago de Compostela e Intercambio Científico: Santiago de Compostela. p. 37-58.
- [11] Sanchis Vidal, A., *Interpretación jurídica, igualdad y género en los estudios de derecho. Aportaciones epistémicas y feministas*. Revista General de Derecho Constitucional, 2015(21): p. 1-75.
- [12] Harding, S.G., *Feminism and methodology: social science issues*. 1987, Bloomington: Indiana University Press. viii, 193 p.
- [13] Comisión Mundial de Cultura y Desarrollo de la ONU, *Nuestra diversidad creativa. Informe de la Comisión Mundial de Cultura y Desarrollo*. 1997, Madrid: Fundación Santa María. 212 p.
- [14] Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), *Manual de Frascati 2002: Medición de las actividades científicas y tecnológicas. Propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental*. 2003, Madrid: Fundación Española Ciencia y Tecnología. 255 p.
- [15] Santos, B.d.S., *Sociología jurídica crítica: para un nuevo sentido común en el derecho*. Estructura y procesos. Derecho. 2009, Madrid: ILSA-Trotta. 708 p.
- [16] Benhabib, S., *The Generalised and the Concrete Other*, en *Feminism as critique: on the politics of gender*, S. Benhabib and D. Cornell, Editors. 1987, University of Minnesota Press: Minneapolis. p. 193 p.
- [17] Harding, S.G., *Why has the sex/gender system become visible only now?*, en *Discovering reality: feminist perspectives on epistemology, metaphysics, methodology, and philosophy of science*, S.G. Harding and M.B. Hintikka, Editors. 1983, D. Reidel Publishing Company: Boston. p. XIX, 332 p.
- [18] Harding, S.G., *Multicultural and global feminist philosophies of science: resources and challenges*, en *Feminism, science, and the philosophy of science*, L.H. Nelson and J. Nelson, Editors. 1996, Kluwer Academic Publishers: Boston. p. xix, 311 p.
- [19] Beltrán Llavador, J., E. Íñigo-Bajo, and A. Mata-Segreda, *El debate acerca de la pertinencia y responsabilidad social universitaria, en Sumando voces. Ensayos sobre educación superior en términos de igualdad e inclusión social*, A. Teodoro and J.C. Beltrán, Editors. 2014, Miño y Dávila: Buenos Aires. p. 1 online resource (384 páginas).
- [20] Coronil, F., *Naturaleza del poscolonialismo: del eurocentrismo al globocentrismo*, en *La colonialidad del saber eurocentrismo y ciencias sociales: perspectivas latinoamericanas*, E. Lander, (Ed.), Editor. 2005, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales: Buenos Aires. p. 87-112.
- [21] Mayor Zaragoza, F., *The role of the social sciences in a changing Europe*, en *International Social Science Journal*. 1998, Blackwell Publishers Ltd. p. 455-459.
- [22] Menchú Tum, R., *La humanidad tiene una misión; innovación para la solución de problemas en el mundo*, en *Derechos y Oportunidades para los estudios universitarios de los jóvenes en el siglo XXI*. 2015, Universidad Tecnológica de Matamoros: Matamoros.
- [23] Galcerán Huguet, M., *La mercantilización de la universidad*, en *Revista electrónica interuniversitaria de formación del profesorado*. 2010. p. 89-106.
- [24] Kranich, N., *Countering Enclosure: Reclaiming the Knowledge Commons*, en *Understanding knowledge as a commons: from theory to practice*, C. Hess and E. Ostrom, Editors. 2007, MIT Press: Cambridge, Mass. p. xiii, 367 p.
- [25] Agencias, *FAO: La obesidad será el hambre del siglo XXII*, en *ElDiario.es*. 2016, www.eldiario.es; Madrid.
- [26] Hess, C. and E. Ostrom, (Eds.), *Understanding knowledge as a commons: from theory to practice*. 2007, Cambridge, Mass.: MIT Press. xiii, 367 p.
- [27] UNESCO, *Replantear la educación ¿Hacia un bien común mundial?* 2015, Paris: UNESCO. 94 p.
- [28] Sen, A., *Desarrollo y libertad*. 2000, Barcelona: Planeta. 440 p.
- [29] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), *Informe sobre desarrollo humano 2001: poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo*. 2001, México: Mundi-Prensa. 268 p.
- [30] Bermejo Gómez de Segura, R., et al., *Cuadernos de trabajo Hegoa, n° 52. Menos es más: Del desarrollo sostenible al decrecimiento sostenible*. 2010, Bilbao: HEGO.A. 1-28.
- [31] Pérez Orozco, A., *Subversión feminista de la economía: aportes para un debate sobre el conflicto capital-vida*. Mapas. 2014, Madrid: Traficantes de Sueños. 305 p.
- [32] Herrero, Y., *Miradas ecofeministas para transitar a un mundo justo y sostenible*, en *Revista de economía crítica*. 2013. p. 278-307.
- [33] Stallman, R., *The GNU Operating System and the Free Software Movement*, en *Open sources: voices from the open source revolution*, C. DiBona, S. Ockman, and M. Stone, (Eds.), Editors. 1999, O'Reilly: Sebastopol. p. 31-38.
- [34] Schweik, C.M., *Free/Open-Source Software as a Framework for Establishing Commons in Science*, en *Understanding knowledge as a commons: from theory to practice*, C. Hess and E. Ostrom, (Eds.), Editors. 2007, MIT Press: Cambridge. p. 277-310.
- [35] Creative Commons. "Some Rights Reserved": *Building a Layer of Reasonable Copyright*. 2011 15 de agosto de 2016]; Obtenido de: <https://goo.gl/lhlc5>.
- [36] Creative Commons. *Sobre las licencias*. 2018 20 de julio de 2018]; Obtenido de: <https://goo.gl/Y0rHNm>.



Ramón Rueda López, Doctor en Ciencias Jurídicas y Empresariales por la Universidad de Córdoba (2016), Licenciado en Administración y Dirección de Empresas por la Universidad de Córdoba (2011). Master en Derecho Autonómico y Local por la Universidad de Córdoba (2011). Docente a tiempo completo en el Área de Organización de Empresas del Departamento de Economía Aplicada, Estadística, Investigación Operativa y Organización de Empresas de la Universidad de Córdoba.

Published by:

Escuela Politécnica Nacional
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Departamento de Informática y Ciencias de la Computación
Ecuador

<http://lajc.epn.edu.ec/>
lajc@epn.edu.ec

November 2018

