

Proceedings of XIII Iberoamerican Conference on Applications and Usability of Interactive Digital TV



Dominican Republic, 13-15 Nov 2024

REDAUTI 

Proceedings of JAUTI24 : XIII Iberoamerican Conference on Applications and Usability

of Interactive Digital TV / Editado por María José Abásolo ; Carlos De Castro Lozano ; Gonzalo Olmedo Cifuentes. - 1a ed - La Plata : Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Informática, 2025.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-34-2567-1

1. Televisión Digital. 2. Sistemas Interactivos. 3. Inteligencia Artificial. I. Abásolo, María José , ed. II. De Castro Lozano, Carlos, ed. III. Olmedo Cifuentes, Gonzalo, ed. CDD 006.3

ISBN 978-950-34-2567-1



9 789503 425671

1	Preface
2	Committee
	Technologies, services, and applications for digital TV
3	Design of an SDR-Based ISDB-T Receiver and Transport Stream Analyzer Gonzalo Olmedo, Deyder Montiel, Nelson Benavides
13	Recepción y Procesamiento de Metadatos en Videostreaming con MPEG-DASH: Localización del Balón en Contenidos Deportivos Bajo Demanda Jonathan Solano y Diego Villamarín
25	Algoritmo para la codificación y multiplexación de metadatos en un flujo de transporte (BTS): Transmisión de la localización del balón en video bajo demanda Andrés Loachamin y Diego Villamarín
34	Algoritmo para la recepción y tratamiento de metadatos para la localización de la pelota de un partido de fútbol en transmisiones de Televisión Digital Terrestre Luis Gallo y Diego Villamarín
44	Integración de contenidos en TVC+ a través de la segunda pantalla Julio E. Pons Iglesias, Dominador Yosvel De Lima Torres, Joaquín D. Pina-Amargós, Raisa Socorro Llanes, Ariel A. Fernández Santana
	e-Accessibility, e-Health and e-Socialization
56	Combater o Isolamento Social Com a Ajuda da Televisão: Utopia ou Realidade? Gabriel Faria, Telmo Silva, Jorge Ferraz de Abreu
63	Older adults and Alexa: breaking digital barriers through voice commands Juliana Camargo, Telmo Silva, Jorge Ferraz de Abreu
71	Design and Development of a Mobile App for the Measurement of Sepsis Risk in Patients in Pre-Hospital Settings Isabel Herrera Montano, Isabel de la Torre Díez, Adolfo José Dopico, Francisco Martín Rodríguez
80	Revisión: Optimización de la Continuidad Asistencial para Pacientes Crónicos mediante IA Generativa, Metaverso y Asistentes Virtuales Inteligentes Afectivos en OTT Javier Cabo Salvador, José M. Ramírez, Carlos de Castro, Verónica Cabo Muiños, Rafael Iglesias, Juan J. Lopez-Ibor, Joan Arambarri, Isabel de Castro, Isabel de la Torre, Yoan Martínez López
87	Assessment of a Wetakecare Ecosystem for Sustainable Training and Care of Disabled and Elderly People José Miguel Ramírez, Carlos de Castro Lozano, Enrique García, Isabel de Castro, Yoan Martínez-López, Joaquin Aguilar

- 98** **IA e ICC no Apoio a Pessoas com TDAH no Trabalho: Soluções Tecnológicas para Acessibilidade**
Anthony Miguel G. de Araújo, Valdecir Becker

Usability and UX evaluations |

- 110** **Experiencia de Adultos Mayores con Juegos Serios para Estimular la Memoria en TV interactiva: Un Análisis de Facilidad de Uso y Utilidad Percibida según el Modelo TAM**
Ana Camacho, María José Abasolo, Rita Oliveira
- 120** **Televisión Digital Interactiva para mejorar la marcha en adultos mayores: Estudio de Intervención y Validación**
María Magdalena Rosado, María José Abásolo, Telmo Silva, Stalin Jurado, José Antonio Valle Flores, Sheyla Villacres
- 127** **Usability Review of a Mobile Platform for Sharing and Visualizing Audiovisual Collective Memories**
Edgar Quintero, Ana Velhinho, Luís Pedro, Pedro Almeida
- 135** **Método para la estimación de la QoE en servicios de videostreaming usando técnicas de computación afectiva**
Luis Miguel Castañeda Herrera, José Luis Arciniegas Herrera, Sandra Silvia Baldassarri, José Ramón Beltrán Blázquez

Education and Artificial Intelligence |

- 152** **Cibercultura y Educación en el Metaverso: Semiósfera del Aprendizaje Digital mediante Metodología SIALU**
Mónica Santillán Trujillo, José Miguel Uceda, Carlos de Castro Lozano
- 159** **Impacto de los Agentes Virtuales Afectivos en la Enseñanza de la Inteligencia Artificial a través de la Teleducación**
Yoan Martínez-López, Carlos de Castro Lozano, Jose Carlos Hernández, José Miguel Ramírez Uceda
- 167** **Ecosistema Transmedia Educativo Basado en Agentes Virtuales Afectivos: Innovación y Aprendizaje Adaptativo en Plataformas OTT**
Carlos de Castro Lozano, J. Miguel Ramírez Uceda, Enrique García Salcines, Joaquín Aguilar Cordón, Isabel de Castro Burón, Jon Arambarri, Yoan Martínez López, Raykener Yzquierdo, Javier Cabo
- 177** **Princípios Éticos na IA: O Impacto da Governança Ética na Redução de Vieses**
Vanessa G. L. Pessoa, Valdecir Becker

PREFACE

The XIII Ibero-American Conference on Applications and Usability of Interactive Digital Television (jAUTI 2024) was jointly organized by the University of Córdoba (Spain) and RedAUTI (Thematic Network on Applications and Usability of Interactive Digital Television). The event was held from November 13 to 15, 2024, in Santo Domingo, Dominican Republic.

This publication compiles 19 research papers presented during the conference, addressing diverse topics such as infrastructure, design, development, and user experiences related to interactive digital television and associated information and communication technologies. A single blind peer-review process was carried out to produce the final versions included in this publication.

January 2025

PREFACIO

La XIII Conferencia Iberoamericana sobre Aplicaciones y Usabilidad de la Televisión Digital Interactiva (jAUTI 2024) fue organizada conjuntamente por la Universidad de Córdoba (España) y RedAUTI (Red Temática sobre Aplicaciones y Usabilidad de la Televisión Digital Interactiva). El evento se celebró del 13 al 15 de noviembre de 2024 en Santo Domingo, República Dominicana.

Esta publicación recopila 19 trabajos de investigación presentados durante la conferencia, que abordan diversos temas como infraestructura, diseño, desarrollo y experiencias de usuario relacionadas con la televisión digital interactiva y tecnologías de la información y comunicación asociadas. Se llevó a cabo un proceso de revisión por pares ciego para producir las versiones finales incluidas en esta publicación.

Enero de 2025

PREFÁCIO

O XIII Congresso Ibero-Americano sobre Aplicações e Usabilidade da Televisão Digital Interativa (jAUTI 2024) foi organizado conjuntamente pela Universidade de Córdoba (Espanha) e pela RedAUTI (Rede Temática sobre Aplicações e Usabilidade da Televisão Digital Interativa). O evento foi realizado de 13 a 15 de novembro de 2024, em Santo Domingo, República Dominicana.

Esta publicação compila 19 artigos de investigação apresentados durante o congresso, abordando diversos temas, como a infraestrutura, o design, o desenvolvimento e as experiências de utilizador relacionadas com a televisão digital interativa e tecnologias de informação e comunicação associadas.. Foi realizado um processo de revisão por pares cego para produzir as versões finais incluídas nesta publicação.

Janeiro de 2025

María J. Abásolo

Carlos De Castro Lozano

Gonzalo Olmedo Cifuentes

Eds.

Organization

General Chairs

ABÁSULO, María José. III-LIDI/CICPBA, National University of La Plata, Argentina
DE CASTRO LOZANO, Carlos. University of Córdoba, Spain
OLMEDO CIFUENTES, Gonzalo. Polytechnic School of the Army ESPE, Ecuador

Scientific Committee

ALMEIDA, Pedro. Digimedia, University of Aveiro, Portugal
ARCINIEGAS HERRERA, José Luis. University of Cauca, Colombia
BALDASSARRI, Sandra. University of Zaragoza, Spain
BECKER, Valdecir. Federal University of Paraíba, Brazil
BESERRA, Vagner. University of Tarapacá, Chile
BORONAT, Fernando. Polytechnic University of Valencia, Spain
BUADES RUBIO, José Maria. UGIV-IA, University of the Balearic Islands, Spain
FERRAZ DE ABREU, Jorge. Digimedia, University of Aveiro, Portugal
GONZÁLEZ HIDALGO, Manuel. UGIV-IA, University of the Balearic Islands, Spain
GUEDES, Alan. University of Reading, United Kingdom
JANTSCH, Anelise. Federal Institute of Rio Grande do Sul (NIIF), Brazil
KULESZA, Raoni. Federal University of Paraíba, Brazil
MONTERO SIMARRO, Francisco. University of Castilla-La Mancha, Spain
OLIVEIRA, Patrícia. Digimedia, University of Aveiro, Portugal
OLIVEIRA, Rita. Digimedia, University of Aveiro, Portugal
OLIVER, Antoni. LTIM, University of the Balearic Islands, Spain
PAREDES, Douglas. University of Los Andes, Venezuela
PINA AMARGÓS, Joaquín. CUJAE, Cuba
PRATA, Alcina. Polytechnic Institute of Setúbal, Portugal
SAINZ DE ABAJO, Beatriz. University of Valladolid, Spain
SANTOS, Graciela. National University of the Center of the Province of Buenos Aires, Argentina
SILVA, Telmo. Digimedia, University of Aveiro, Portugal
SOCORRO LLANES, Raisa. CUJAE, Cuba
VELHINHO, Ana. Digimedia, University of Aveiro, Portugal
VILLAMARÍN, Diego. Polytechnic School of the Army ESPE, Ecuador

Design of an SDR-Based ISDB-T Receiver and Transport Stream Analyzer

Gonzalo Olmedo, Deyder Montiel, Nelson Benavides

^{1*}Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, Sangolquí, Ecuador.

Contributing authors: gfolmedo@espe.edu.ec; damontiel@espe.edu.ec; nbbenavides1@espe.edu.ec;

Abstract

This paper presents the design and implementation of a flexible and cost-effective system for receiving and analyzing ISDB-T signals using Software Defined Radio (SDR) technology. The system employs the ADALM-PLUTO transceiver which offers suitable frequency and sampling rate performance and connects to a computer for processing in the GNU Radio program through a block system. A specific block was designed to analyze PAT, PMT, NIT, and SDT tables which are essential for Transport Stream (TS) analysis and implemented in Python. The results show that the system allows real-time and post-reception table analysis facilitating a more detailed study of the information. This work presents a practical tool and contributes to the field with a low-cost and highly flexible solution for ISDB-T signal analysis, demonstrating its effectiveness through comparisons with similar systems and highlighting its potential for future applications in the digital television industry.

Keywords: ISDB-T, TDT, SDR, GNU Radio, Transport Stream, Python, PAT, PMT, NIT, SDT.

1 Introduction

The introduction of Digital Terrestrial Television (DTT) transformed multimedia broadcasting, enabling multiple programs with improved audio, video quality, and interactivity. The ISDB-Tb standard, derived from Japan's ISDB-T, employs MPEG-4 encoding and GINGA for interactivity [1]. Key to DTT analysis is the Transport Stream (TS), which encapsulates service and auxiliary data in Packetized Elementary Streams (PES).

This study presents a low-cost TS analyzer for ISDB-T, developed at the Digital Television Laboratory, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, using an ADALM PLUTO SDR and GNU Radio. The tool decodes PAT, PMT, NIT, and SDT tables, analyzing real-time TS data and MPEG-2 TS files via Python functions integrated with GNU Radio.

Challenges include decoding dynamic PAT for service association, extracting service-specific PMT data, analyzing extensive NIT network details, and processing SDT information for user-facing service organization [2]. Compared to prior tools focused on post-reception analysis [3], this analyzer processes live signals directly, enhancing efficiency and reducing costs from over 15,000 USD for commercial analyzers to under 200 USD.

This document is structured as follows: Section II outlines ISDB-T fundamentals, Section III details the system's hardware and software, Section IV discusses results, and Section V concludes.

2 Digital Terrestrial Television

2.1 Transport Stream

A TS packet comprises 188 bytes: a 4-byte header and a payload of 184. The packets can be transmitted in any order as their packet identifier (PID) distinguishes them in the header. A TS packet contains information previously associated with Program Streams (PS), which are Packetized Elementary Streams (PES) for audio, video, or data. Null or filler TS packets may also be found in cases where a fixed bit rate TS stream is needed.

PSI/SI tables are data groups that send specific information to the receiver to control the playback and decoding process. PSI tables include PAT, PMT, and CAT, while SI tables include BAT, NIT, SDT, EIT, TDT, TOT, and ST [2].

2.2 ISDB-T Standard

In ISDB-T, the 6 MHz analog TV bandwidth is divided into 14 segments of 428.57 kHz each. Thirteen segments transmit the TDT signal, while one serves as a guard interval to prevent interference, resulting in a 5.57 MHz bandwidth. ISDB-T supports three transmission modes, differing in the number of carriers per segment [4].

ISDB-T supports the simultaneous transmission of multiple services, including high-definition (HD), standard-definition (SD), and low-definition mobile television, within the 5.57 MHz spectrum. It employs a hierarchical structure (Figure 1), dividing the transport stream (BTS) into 188-byte packets (TSP) processed by a Reed-Solomon encoder RS(204, 188) for error correction. Three layers, A, B, and C, allow independent configuration of the digital modulator and convolutional encoder. Modulation schemes include 64-QAM, 16-QAM, QPSK, and DQPSK. Higher modulations like 64-QAM offer greater spectral efficiency for HD signals, while QPSK and DQPSK provide robustness for mobile transmissions at lower rates.

The convolutional encoder in ISDB-T ensures reliable transmission with a generator matrix $G = [171; 133]_8$ and a code rate of $r_c = 1/2$. The code rate can be

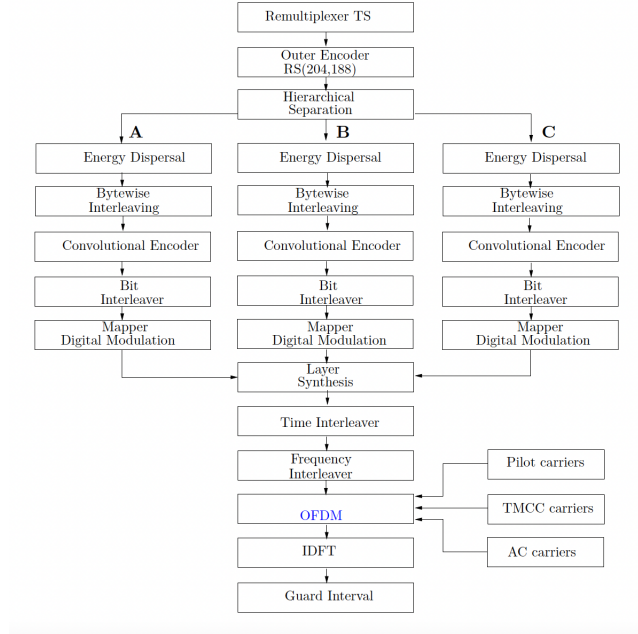


Fig. 1 Hierarchical Structure

increased by puncturing parity bits, enhancing data rates but reducing error correction capability. This feature ensures secure and efficient error detection and correction.

Segments are grouped for layers A, B, and C and interleaved across the spectrum. Segment zero, located at the center, supports low-definition mobile communications, commonly using the OneSeg configuration [4].

The carriers from each layer and control block are combined through Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), enabling simultaneous transmission of all configured data. OFDM symbols are transmitted with guard intervals to mitigate multipath signal effects [4].

2.3 Broadcast Transport Stream

The ISDB-T system incorporates 16 additional bytes into each TSP for configuring the physical layer, including modulation type, error correction codes, and multi-carrier structure among other parameters, forming packets of 204 bytes of a new transport stream called Broadcast Transport Stream (BTS) [5]. The configuration of the BTS is performed in an SI table, which is of utmost importance, referred to as the Transmission and Multiplexing Configuration Control Table (TMCC) [5].

3 Receiver Design and Implementation

3.1 Software Defined Radio Design

SDR systems are defined as those in which software defines some or all components of the physical layer. They consist of an RF antenna connected to an SDR transceiver to adapt the signal, followed by a computer with SDR processing software. For receiver implementation, the ADALM PLUTO SDR transceiver manufactured by National Instruments captures and tunes the signal [6]. The device is compatible with various operating systems and processing programs and can generate RF analog signals from 325 MHz to 3.8 GHz [6]. GNU Radio is the processing software for transmission and reception systems using block diagrams constructed in C++ and Python [7].

3.2 Infrastructure and Methodology

The system infrastructure consists of both hardware and software components. On the hardware side, the ADALM-PLUTO SDR transceiver by National Instruments is utilized, capable of capturing and tuning signals in the 325 MHz to 3.8 GHz range [6]. A UHF/VHF RF antenna is connected to the transceiver via an F-Type to SMA coupler, and signal processing is performed on a Linux Ubuntu 18.04 system.

The software components include GNU Radio, an open-source platform for signal processing [7], complemented by custom Python blocks for specialized analyses.

The methodology encompasses key steps in signal reception, processing, and real-time analysis:

- **Signal Acquisition:** The PlutoSDR Source block in GNU Radio sets parameters such as channel tuning frequency.
- **Resampling:** The Rational Resampler block adjusts the sampling frequency to the ISDB-Tb full-seg standard.
- **Noise Reduction:** A Low Pass Filter removes noise and interfering signals.
- **Demodulation and Synchronization:** The OFDM Synchronization block performs orthogonal demodulation and mitigates timing and frequency synchronization effects.
- **Signal Decoding:** The TMCC Decoder block analyzes transmitted signal characteristics using carrier data.
- **Error Correction:** Frequency and Time Deinterleavers, along with Symbol Demapper and ISDB-T Channel Decoding blocks, perform tasks such as deinterleaving, energy dispersal, Viterbi decoding, and Reed-Solomon decoding. The resulting bitstream is saved as a `.ts` file using the File Sink block.

For real-time analysis, a custom Python block, `Table_Test`, displays information from PAT, PMT, NIT, and SDT tables via the GNU Radio console and user interface.

The GUI is divided into three main areas for user convenience:

- **Control Area:** Includes buttons for run, clear, and exit functions.
- **Search and Display Area:** Contains navigation buttons, text boxes for packet details, and a table to view the 188-byte packet data.

- **Table Display Area:** Organized into tabs to show the content of PAT, PMT, NIT, and SDT tables.

3.3 Physical Implementation

Figure 2 illustrates the implementation of a digital television signal receiver using a software-defined radio (SDR) system. The setup includes an RF antenna for UHF and VHF signals, connected via an F-type to SMA coupler to the ADALM PLUTO transceiver. Signals are transferred to a computer through a USB connection. The software operates with the following specifications: Linux Ubuntu 18.04, GNU Radio version 3.7.10.1, Python version 2.7, and libraries including `libiio`, `libad9361`, and `gr-io` for ADALM-PLUTO, along with the ISDB-T library for GNU Radio.

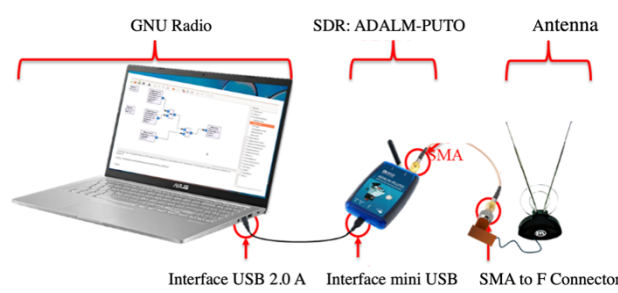


Fig. 2 Receiver implementation scheme

Figure 3 shows the block diagram of the digital television signal receiver based on the ISDB-Tb standard in GNU Radio, developed as described in [8]. The algorithm adapts DVB-T decoding blocks for ISDB-Tb, including OFDM Synchronization, TMCC Decoder, Frequency Deinterleaver, Time Deinterleaver, Symbol Demapper, and ISDB-T Channel Decoding blocks. The library is available on GitHub under the name `gr-debt`. Below, the functionality of these blocks is described:

- **PlutoSDR Source:** Configures signal acquisition parameters, such as channel tuning frequency, using the ADALM PLUTO SDR.
- **Rational Resampler:** Adjusts the sampling frequency to the ISDB-Tb full-seg standard through decimation and interpolation.
- **Low Pass Filter:** Eliminates noise and high-frequency interference.
- **OFDM Synchronization:** Performs orthogonal demodulation and addresses timing and frequency synchronization issues in the OFDM system.
- **TMCC Decoder:** Analyzes transmitted signal characteristics by processing carrier data.
- **Frequency Deinterleaver and Time Deinterleaver:** Enhance signal robustness based on the transmission mode and segment distribution.
- **Symbol Demapper:** Maps samples to their corresponding modulation layers.

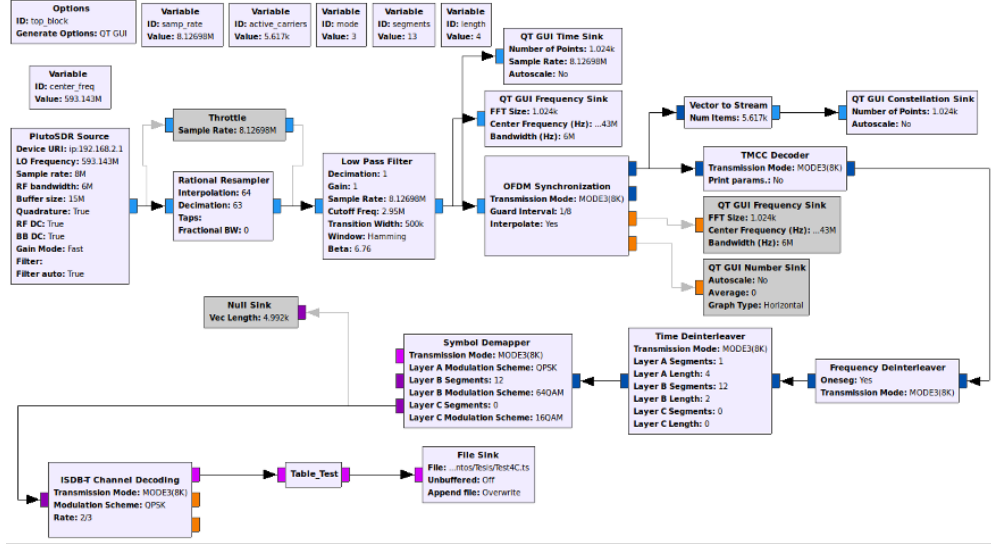


Fig. 3 Reception scheme in GNU Radio

- **ISDB-T Channel Decoding:** Decodes signals per layer, including byte deinterleaving, energy dispersal, bit deinterleaving, Viterbi decoding, and Reed-Solomon decoding.
- **File Sink:** Stores the decoded bitstream in a `.ts` file.

The `Table_Test` block, custom-developed in Python, displays real-time information from the Program Association Table (PAT), Program Map Table (PMT), Network Information Table (NIT), and Service Description Table (SDT) using GNU Radio's console. It reads and processes decoded values from the current TS packet. GNU Radio enables code modification via text editors or Python-specific Integrated Development Environments (IDEs).

4 Results Analysis

The developed system was tested by tuning into the Ecuador TV channel, operating at a frequency of 545.143 MHz with a guard interval of 1/8, determined experimentally. Figure 4 illustrates the channel tuning process in the time domain, the spectrum after the filtering process, and the constellation diagram using GNU Radio's QT tools. The results showed that the system could successfully tune and analyze the ISDB-T signals, providing detailed real-time information from the PAT, PMT, NIT, and SDT tables shown in Figures 5 through 8.

To validate the accuracy and reliability of our system, we compared the results obtained with those from the PROMAX HD Ranger Neo 2 spectrum analyzer for ISDB-T in real-time. The comparison showed that our system recognized the same

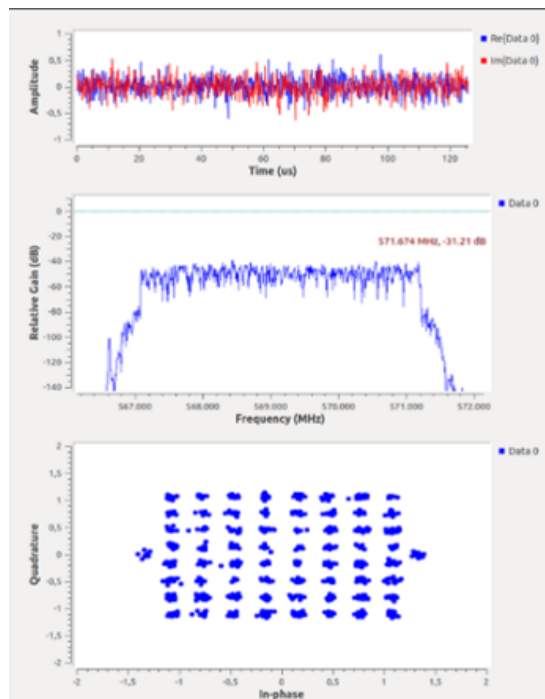


Fig. 4 Signal Reception of Ecuador TV Channel

values as the PROMAX analyzer, confirming the effectiveness and precision of our low-cost solution. This validation demonstrates that our system can perform on par with commercial equipment, providing accurate and reliable data analysis at a significantly lower cost.

```

-----
PAT FOR CAP SERVICE
-----
PID: 0 and in hex: 0x0
Table ID: 0 and in hex: 0x0
Section length: 25 and in hex: 0x19
Section syntax error: 1 then True
CRC-32: [172 249 186 142]
Transport Stream identifier: 82 and in hex: 0x52
Version Number: 0 and in hex: 0x0
Current next indicator: 1 then True
----- Broadcasting program number identifier -----
Broadcasting program number identifier 0 : 0
Broadcasting program number identifier 1 : 2625
Broadcasting program number identifier 2 : 2624
Broadcasting program number identifier 3 : 2648
-----
Network PID: 8
----- Program map PID -----
Program map PID 0 : 4096
Program map PID 1 : 4112
Program map PID 2 : 8136
*****

```

Fig. 5 Ecuador TV – PAT Table

```

*****
PMT FOR CAP SERVICE
*****
PID: 8136 and in hex: 0x1fc8
Table ID: 2 and in hex: 0x2
Section length: 47 and in hex: 0x2f
Section syntax error: 1 then True
CRC-32: [ 72 113 227 4]
Program number: 2648 and in hex: 0xa58
Version Number: 2 and in hex: 0x2
Current next indicator: 1 then True
PCR_PID: 4130 and in hex: 0x1022
Program information length: 6 and in hex: 0x6
-----
----- Parental Rating -----
----- Availability Country -----
Country ability flag: Possible
Country code 4539221
----- Stream Type identifier -----
Stream type identifier 0 : 27
Stream type identifier 1 : 17
Stream type identifier 2 : 6
----- Stream Type -----
Stream type 0 : Video according to ITU Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10
Stream type 1 : Audio according to ISO/IEC 14496-3
Stream type 2 : PES packets
----- Elementary Stream PID -----
Elementary Stream PID 0 : 4129
Elementary Stream PID 1 : 4131
Elementary Stream PID 2 : 310
----- ES information length -----
ES information length 0 : 3
ES information length 1 : 3
ES information length 2 : 7
----- Component Tag ID -----
Component Tag ID 0 : 129
Component Tag ID 1 : 131
Component Tag ID 2 : 135
----- Data Component -----
Data coding method id: 18
Additional identifier info: []
*****

```

Fig. 6 Ecuador TV – PMT Table

```

*****
NIT FOR CAP SERVICE
*****
PID: 16 and in hex: 0x10
Table ID: 64 and in hex: 0x40
Section length: 76 and in hex: 0x4c
Section syntax error: 1 then True
CRC-32: [ 97 124 103 107]
Network Identifier: 82 and in hex: 0x52
Version Number: 1 and in hex: 0x1
Current next indicator: 1 then True
Network Descriptor Length: 6 and in hex: 0x6
Network Name: ECTV
System Management ID: 0 and in hex: 0x0
Additional Information:
Transport Stream Loop Length: 57 and in hex: 0x39
-----
Transport Stream Identifier: 82 and in hex: 0x52
Original Network Identifier: 82 and in hex: 0x52
Transport Stream Loop Length: 51 and in hex: 0x33
-----
----- Service ID -----
Service ID 0 : 2648
Service ID 1 : 2624
Service ID 2 : 2625
----- Service Type -----
Service Type 0 : Data Service
Service Type 1 : Digital Television
Service Type 2 : Digital Television
-----
Remote Key ID: 7 and in hex: 0x7
TS Name Length: 14 and in hex: 0xe
Transmission Count: 3 and in hex: 0x3
TS Name: Ecuador TV UIO
----- Transmitter Parameter -----
Transmitter Parameter 0 : Type C
Transmitter Parameter 1 : Type A
Transmitter Parameter 2 : Type B
----- Modulation -----
Modulation 0 : QPSK
Modulation 1 : 64 QAM
Modulation 2 : 16 QAM
----- Service Number -----
Service Number 0 : 1
Service Number 1 : 1
Service Number 2 : 1
----- Service Identification -----
Service Identification 0 : [2648]
Service Identification 1 : [2624]
Service Identification 2 : [2625]
-----
Code Area: 0 and in hex: 0x0
Guard Interval: 1/8
Transmission Mode: Mode 3
----- Channel -----
Channel 0 : [26]
----- Partial Reception System -----
Partial Reception System 0 : 2648
----- Emergency Information Descriptor -----
*****

```

Fig. 7 Ecuador TV NIT - Table

```

*****
SDT FOR CAP SERVICE
*****
PID: 17 and in hex: 0x11
Table ID: 66 and in hex: 0x42
Section length: 97 and in hex: 0x61
Section syntax error: 1 then True
CRC-32: [223 66 225 240]
Transport Stream Identifier: 82 and in hex: 0x52
Version Number: 1 and in hex: 0x1
Current next indicator: 1 then True
Original Network Identifier: 82 and in hex: 0x52
----- Service ID -----
Service ID 0 : 2625
Service ID 1 : 2624
Service ID 2 : 2648
----- Running Status -----
Running Status 0 : Executed
Running Status 1 : Executed
Running Status 2 : Executed
----- Service Type-----
Service Type 0 : Digital Television
Service Type 1 : Digital Television
Service Type 2 : Data Service
----- Service Provider Name-----
Service Provider Name 0 : ECTV
Service Provider Name 1 : ECTV
Service Provider Name 2 : ECTV
----- Service Name -----
Service Name 0 : ECUADOR TV SD
Service Name 1 : ECUADOR TV HD
Service Name 2 : ECUADOR TV SD MBL
*****
    
```

Fig. 8 Fig. 11. Ecuador TV - SDT Table

5 Conclusions

In this work, we designed and implemented a cost-effective system for receiving and analyzing ISDB-T signals using Software Defined Radio (SDR) technology. The transport stream analyzer, developed with the ADALM-PLUTO transceiver and GNU Radio software, performs real-time and post-reception analysis of PAT, PMT, NIT, and SDT tables. By integrating the entire signal processing chain into a single device, the system significantly reduces complexity and costs compared to commercial analyzers.

The system's performance was validated against the PROMAX HD Ranger Neo 2 spectrum analyzer, demonstrating accuracy and reliability with comparable results. Costing less than 200 USD, the system offers substantial savings over commercial analyzers, which exceed 15,000 USD, while enabling streamlined and efficient real-time transport stream analysis.

This study highlights the potential of SDR technology for developing low-cost, high-performance tools in digital signal processing. Future work could expand support to additional digital television standards and enhance the GUI for improved user interaction.

References

- [1] P. Guedes Esperante, C. Akamine and G. Bedicks, "Comparison of Terrestrial DTV Systems: ISDB-TB and DVB-T2 in 6 MHz," in IEEE Latin America Transactions, vol. 14, no. 1, pp. 45-56, Jan. 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7430060.

- [2] ABNT NBR 15603, "Information Services Multiplexing", 2009.
- [3] G. Olmedo, N. Benavides, F. Acosta and N. Paredes, "MPEG-2 transport stream analyzer for digital television," 2016 35th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC), Valparaiso, Chile, 2016, pp. 1-9, doi: 10.1109/SCCC.2016.7836052.
- [4] ABNT NBR 15601, "Brazilian Standard for Digital Terrestrial Television - Transmission System", 2007.
- [5] Pisciotta, Liendro, and Lauro. "Transmission of Digital Terrestrial Television in the ISDB-T Standard." Cengage Learning, 2013.
- [6] Analog Devices, "ADALM-PLUTO Evaluation Board." Accessed: Feb. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/resources/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/adalm-pluto.html>.
- [7] GNU Radio, "Main Page GNU Radio." Accessed: Feb. 23, 2024. [Online]. Available: <https://wiki.gnuradio.org/index.php>.
- [8] G. Olmedo, B. Chanataxi and N. Benavides, "Receiver for ISDB-Tb standard with low-cost SDR and interactive application extractor," 2022 IEEE ANDESCON, Barranquilla, Colombia, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ANDESCON56260.2022.9989634.

Recepción y Procesamiento de Metadatos en Videostreaming con MPEG-DASH: Localización del Balón en Contenidos Deportivos Bajo Demanda

Jonathan Solano^[0009-0009-1748-3567] y Diego Villamarín^[0000-0001-9175-9570]

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Sangolquí, Ecuador
{jasolano8, dfvillamarin}@espe.edu.ec

Abstract. El avance tecnológico ha permitido nuevas formas de interacción digital, aunque las personas con discapacidad visual aún enfrentan barreras para disfrutar de experiencias como eventos deportivos. Este proyecto presenta un sistema de videostreaming que, utilizando el estándar MPEG-DASH, facilita la accesibilidad a contenido multimedia, específicamente partidos de fútbol previamente grabados (bajo demanda), para personas con deficiencia visual mediante un guante háptico previamente probado. El guante emite vibraciones que indican la posición del balón en una cancha dividida en 45 zonas, permitiendo que el usuario perciba el desarrollo del juego en tiempo real. Este guante será integrado en un futuro, por ende, este proyecto se enfoca en la verificación y visualización de los metadatos que recibirá el guante háptico posteriormente. La interfaz, desarrollada en Python, recibe el flujo de transporte (TS) transmitido desde un emisor a través de una red, realiza la demultiplexación y decodificación identificando el PID de cada paquete y decodifica audio y video mediante FFmpeg. Además, extrae metadatos con la ubicación del balón, que luego convierte al formato MPEG-DASH con MP4Box para generar un manifiesto MPD y alojar el contenido en un servidor HTTP utilizando IIS. La reproducción se realiza en una página web estructurada en HTML, mostrando un radar visual que refleja la posición en tiempo real del balón en el partido. Los resultados muestran que el sistema registra la posición del balón en un archivo .txt, representándola en el radar de forma precisa. Pruebas realizadas confirmaron la funcionalidad de la interfaz, la reproducción eficiente en el servidor con diferentes anchos de banda y la exactitud en la visualización de la posición del balón durante el videostreaming del partido, marcando un hito para adelante realizar la integración con el guante háptico, y lograr la inmersión de las personas con deficiencia visual al mundo tecnológico.

Keywords: Accesibilidad TV, Videostreaming, Bajo Demanda, MPEG-DASH, Flujo de Transporte (TS)

1 Introducción

La tecnología ha transformado nuestras vidas, pero garantizar la inclusión digital sigue siendo un reto, especialmente para personas con deficiencia visual en medios como la

televisión. A pesar de avances como la audiodescripción, que narra escenas visuales a través de una narración superpuesta al audio original [1] [2] [3], la aplicación del lenguaje de señas en la TV [4] y dispositivos hápticos que traducen información visual en estímulos táctiles [5], estas soluciones suelen estar limitadas a transmisiones en vivo, dejando de lado el contenido bajo demanda.

En el ámbito deportivo, esta dificultad se intensifica debido a la dinámica en tiempo real de los eventos, como en el fútbol, donde la localización del balón es esencial para comprender el juego. Aunque se han desarrollado herramientas como guantes hápticos sincronizados con la transmisión en vivo [6] y sistemas de posicionamiento asistido que emplean HBBTV e IoT para sincronizar la posición del balón utilizando vectores generados por scripts en Python [7], su utilidad está restringida a transmisiones en vivo, limitando su aplicabilidad para eventos grabados.

Este artículo propone un sistema que permita a personas con deficiencia visual acceder a eventos deportivos grabados (bajo demanda), integrando metadatos en el flujo de transporte (Transport Stream) de plataformas de Videostreaming que utilizan el estándar MPEG-DASH [8]. Este estándar, conocido por soportar tanto transmisiones en vivo como bajo demanda, proporciona la flexibilidad necesaria para implementar soluciones accesibles e interactivas, sincronizando la posición del balón con dispositivos hápticos para ofrecer una representación táctil precisa y accesible. Es importante mencionar que este proyecto está enfocado en la verificación y visibilidad de los metadatos que se reciben con la posición del balón, siendo un proyecto previo a la implementación directa con el guante háptico.

A futuro, se espera que este sistema se integre eficientemente con tecnologías como el guante háptico, permitiendo que reciba los metadatos de forma sincronizada. Esto facilitará la interpretación táctil de la posición del balón, mejorando significativamente la experiencia de las personas con deficiencia visual. Con esta integración, no solo se promoverá una interacción más inclusiva con los contenidos deportivos, sino también una experiencia más inmersiva y accesible para este público.

2 Receptor de VideoStreaming bajo demanda con MPEG-DASH

La implementación del receptor de Videostreaming utilizando el estándar MPEG-DASH (ver Fig. 1) está compuesta por un servidor web, un cliente que actúa también como equipo receptor, y un equipo transmisor encargado de enviar el flujo de transporte (TS), éste es desarrollado por Andrés Loachamin [10]. El TS que recibe el equipo receptor será demultiplexado y decodificado.

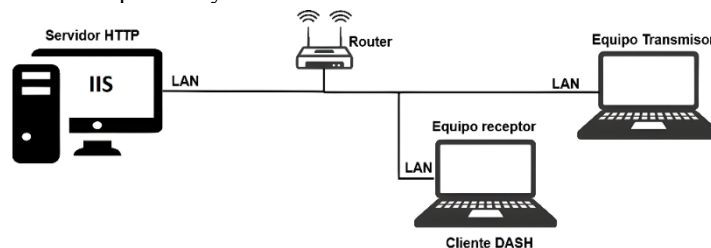


Fig. 1. Arquitectura para VideoStreaming con MPEG-DASH

2.1 Recepción del TS

El equipo receptor recibe el flujo de transporte (TS) enviado por el equipo transmisor a través del software "EaseUS Todo PCTrans Free", estando ambos dispositivos conectados a la misma red de área local (LAN).

En consecuencia, se requiere esperar a que el equipo transmisor establezca una conexión con el equipo receptor mediante la dirección IP correspondiente.

2.2 Interfaz gráfica para transmisión con MPEG-DASH

Se ha desarrollado una interfaz gráfica en Python (ver Fig. 2), cuyo código fuente se encuentra disponible en GitHub, específicamente en la carpeta "Recepción Videostreaming MPEG-DASH" [14]. Dicha interfaz facilita la importación del archivo TS (.ts) generado por el equipo receptor una vez finalizado el proceso de envío.



Fig. 2. Diseño final de la interfaz "RECEPTOR DASH"

Una vez seleccionado e importado el archivo TS, el botón "Preparar transmisión" se habilita automáticamente. Al hacer clic en este botón, se lleva a cabo el proceso de demultiplexación, decodificación del flujo de transporte, adaptación del contenido multimedia al estándar MPEG-DASH y carga de los archivos necesarios al servidor web.

Demultiplexación del TS. El flujo de transporte (TS) recibido se analiza utilizando el software TS Analyzer ESPE [9], el cual permite examinar cada paquete de 188 bytes y determinar su PID (Identificador de Paquete) para clasificar la información como audio, video o datos, a través de la tabla PMT. Los PIDs fueron asignados por el equipo transmisor, al igual que la multiplexación. Por lo tanto, los PIDs para los diferentes tipos de información son: **Video – 2065, Audio – 2075 y Datos – 2085**.

Posteriormente, los paquetes de datos se separan de los de audio y video, generando los archivos "*datosTS_demux.ts*" y "*videoTS_demux.ts*".

Decodificación del contenido multimedia. Nos enfocamos en los contenidos de audio y video, por ende, se utiliza el archivo *"videoTS_demux.ts"*, generado durante el proceso de demultiplexación. De manera indirecta, se lleva a cabo la codificación de estos contenidos con el fin de emplear el estándar MPEG-DASH.

Codificación de video. Se realiza tres diferentes versiones del contenido de video para la codificación que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Distintas versiones del video a codificar

	Resolución	Códec	Tasa de bits
Calidad 1	256x144	H.264	250 kbps
Calidad 2	640x360	H.264	1200 kbps
Calidad 3	1280x720	H.264	2400 kbps

Se utiliza el códec H.264, que comprime el video eliminando información irrelevante sin afectar su calidad [11]. La codificación se realiza en formato .mp4, ideal para streaming, ya que permite almacenar video y audio sincronizados. Este proceso se lleva a cabo con el software FFmpeg, generando tres archivos: "video_256x144.mp4", "video_640x360.mp4" y "video_1280x720.mp4".

Codificación de audio. Se crea una única versión de audio con una tasa de bits de 192 kbps utilizando el códec AAC, que realiza una compresión con pérdidas sin afectar la calidad del audio original [12]. El archivo resultante, con extensión .m4a, ofrece mayor calidad y menor tamaño que el formato MP3. Se emplea el software FFmpeg para generar el archivo "video_audio_192k.m4a".

Decodificación de los metadatos con la ubicación del balón. Se utiliza el archivo "datosTS_demux.ts" generado en la demultiplexación. Los paquetes de datos con PID 2085 contienen la ubicación del balón en la cancha de fútbol, cuyo valor está en la posición 5 de cada paquete y se presenta en formato hexadecimal.

Se extraen los datos de la posición del balón y se guardan en un archivo de texto ".txt" llamado "Coordenadas.txt", que luego se cargará al servidor web. Se optó por este formato debido a su simplicidad, tamaño reducido y debido a que los metadatos son sencillos y requieren únicamente una lectura básica, sin necesidad de etiquetas o estructuras complejas como lo hace JSON o XML, lo que lo hace ideal para sistemas con recursos limitados.

Generación del manifiesto MPD y archivos compatibles con DASH. El manifiesto MPD (Media Presentation Description) es un archivo XML que define los metadatos necesarios para seleccionar entre segmentos de video con distintas tasas de bits, facilitando el servicio de streaming. Usando la herramienta MP4Box del software GPAC, se genera el manifiesto MPD y los archivos de inicialización MPEG-4 correspondientes a cada versión del video y la única versión del audio, necesarios para la reproducción en

un reproductor DASH. El proceso produce los archivos: "manifiesto.mpd", "video_256x144_dashinit.mp4", "video_640x360_dashinit.mp4", "video_1280x720_dashinit.mp4" y "video_audio_192k_dashinit.mp4".

Aunque se consideró incluir los metadatos en el archivo MPD, se descartó para evitar posibles problemas de reproducción.

Subir archivos al servidor web. Al trabajar en el sistema operativo Windows, Microsoft ofrece el servicio IIS (Internet Information Services), el cual funciona como un servidor web local que permite almacenar y gestionar sitios web en entornos basados en Windows Server.

El diagrama de bloques (ver Fig. 5) indica el proceso realizado para subir los archivos al servidor web.

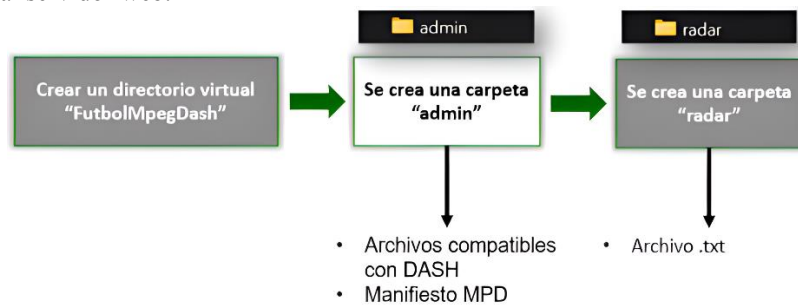


Fig. 5. Diagrama de bloques para subir archivos al servidor web

3 Radar para monitoreo de la posición del balón

El proyecto está dirigido a personas con discapacidad visual; sin embargo, es fundamental implementar un sistema de monitoreo que permita verificar la precisión de las coordenadas de la posición del balón. Para ello, se diseñó un radar que muestra la ubicación del balón en función de las 45 posiciones previamente establecidas (ver Fig. 6).

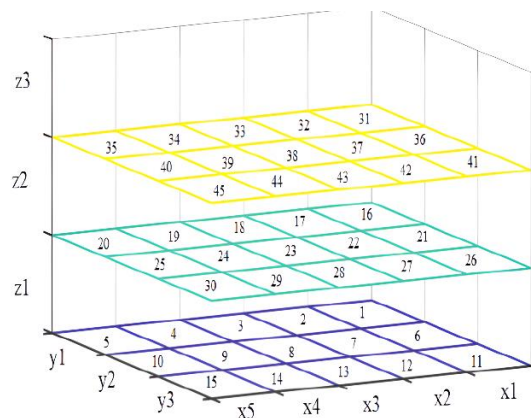


Fig. 7. Posiciones dentro del campo de fútbol para el posicionamiento del balón [6]

El radar se basa en una secuencia de imágenes que se actualizan dinámicamente según la posición del balón en el campo de juego. En la Fig. 7 se presenta una de las imágenes que conforman el radar; en total, existen 45 imágenes, correspondientes a cada una de las posiciones definidas.

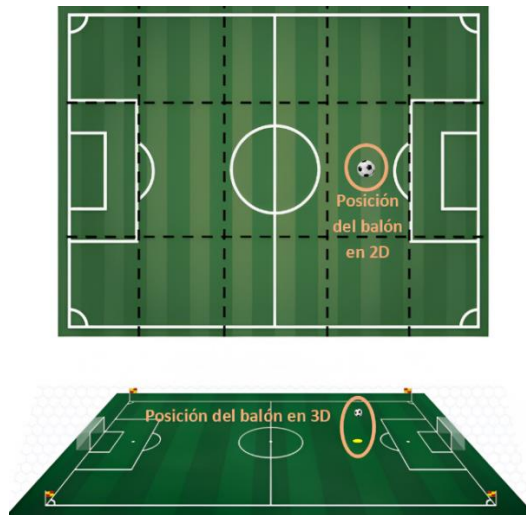


Fig. 7. Imagen de posicionamiento del balón dentro de la cancha de futbol

El equipo transmisor determina la posición del balón en función de las 45 regiones previamente definidas.

Las 45 imágenes generadas para monitorear la posición del balón serán cargadas al servidor web local, en la carpeta "radar" del directorio virtual, donde también se encuentra el archivo "Coordenadas.txt", el cual almacena las posiciones del balón.

4 Página web para reproducir contenido multimedia

Para la creación de la página web con el reproductor DASH, se emplea el lenguaje de programación HTML, incorporando un reproductor DASH que puede adquirirse de forma gratuita en el sitio web Dash.js [13]. Este reproductor es de uso global y sin costo.

El código HTML es personalizado para proporcionar un entorno más amigable en la página web que reproduce el contenido multimedia deportivo (ver Fig. 8), donde se sincronizan las posiciones del archivo de texto con el video. Estas posiciones se representan mediante imágenes (ver Fig. 7) que indican la ubicación del balón, emulando un radar para monitorear el correcto funcionamiento.

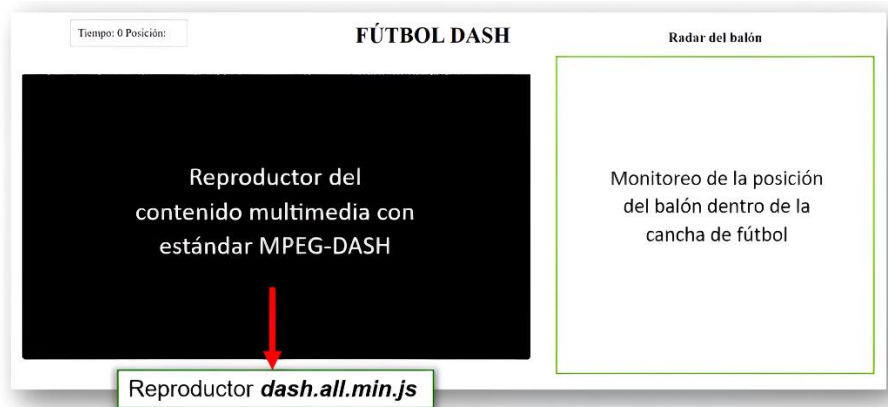


Fig. 8. Página web para reproducir el contenido multimedia

El código HTML desarrollado se encuentra en GitHub, específicamente en la carpeta “Recepción Videostreaming MPEG-DASH” [14]. Este realiza las siguientes funciones:

- Extrae los metadatos del archivo .txt ubicado en el servidor web local
- Sincroniza estos metadatos con el contenido multimedia (partido de fútbol), actualizando la posición del balón cada 0.5 segundos, y
- Representa cada metadato mediante una imagen almacenada en el servidor, mostrando la posición del balón en el campo.

5 Pruebas y resultados obtenidos

5.1 Recepción del TS entre equipo transmisor y receptor

El software "EaseUS Todo PCTrans Free" establece la conexión entre el equipo transmisor y el receptor para transferir el archivo TS. El tiempo de transferencia, que depende de la red y el tamaño del archivo, fue de aproximadamente 3 minutos para un archivo de 430 MB. Una vez completado el envío, el equipo receptor accede al archivo .ts y puede reproducir el video en streaming utilizando el estándar MPEG-DASH.

5.2 Prueba de la Interfaz Receptor MPEG DASH

Se selecciona el TS recibido, se prepara la transmisión para poder reproducir el contenido multimedia con MPEG-DASH (ver Fig. 9).

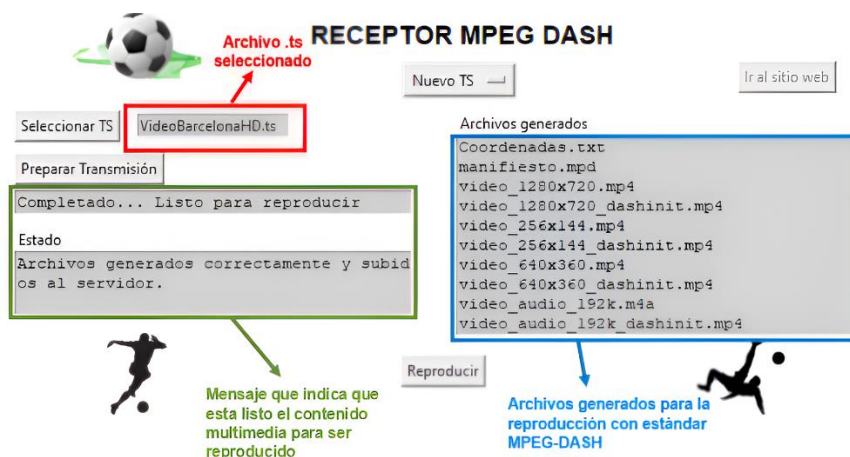


Fig. 9. Funcionamiento de la Interfaz Receptor MPEG DASH

El proceso dura aproximadamente 3 minutos, ya que incluye la demultiplexación de 2.400.001 paquetes del TS, seguida de la decodificación del audio y video, lo que implica su codificación al estándar MPEG-DASH. Además, se decodifican los datos de la posición del balón y se copian los archivos generados al servidor web local. Una vez finalizado, se habilita la función "Reproducir", que redirige a la página web para la reproducción del contenido multimedia.

5.3 Posición del balón con el video a reproducir

Se accede a la página web para reproducir el contenido multimedia, donde se analiza y comprueba el posicionamiento del balón cada 0.5 segundos mientras este se transmite (ver Fig. 10).



Fig. 10. Posición del balón en el radar de monitoreo

El radar de monitoreo de la posición del balón se actualiza cada 0.5 segundos con la imagen correspondiente (ver Fig. 10), sincronizada con el contenido multimedia y sin retardo durante la transmisión del partido.

Si se registran errores en los metadatos, como valores fuera de las 45 regiones del campo, el algoritmo ignora el valor durante 0.5 segundos, manteniendo la posición anterior hasta que se registre una nueva posición válida.

5.4 Reproducción del video deportivo con el estándar MPEG-DASH

Se utiliza el software NetLimiter para limitar el ancho de banda de la red y evaluar cómo se adapta el contenido multimedia a las diferentes resoluciones disponibles (ver Fig. 11 y Fig. 12). Estas figuras, de autoría propia, se basan en los resultados de la experimentación.

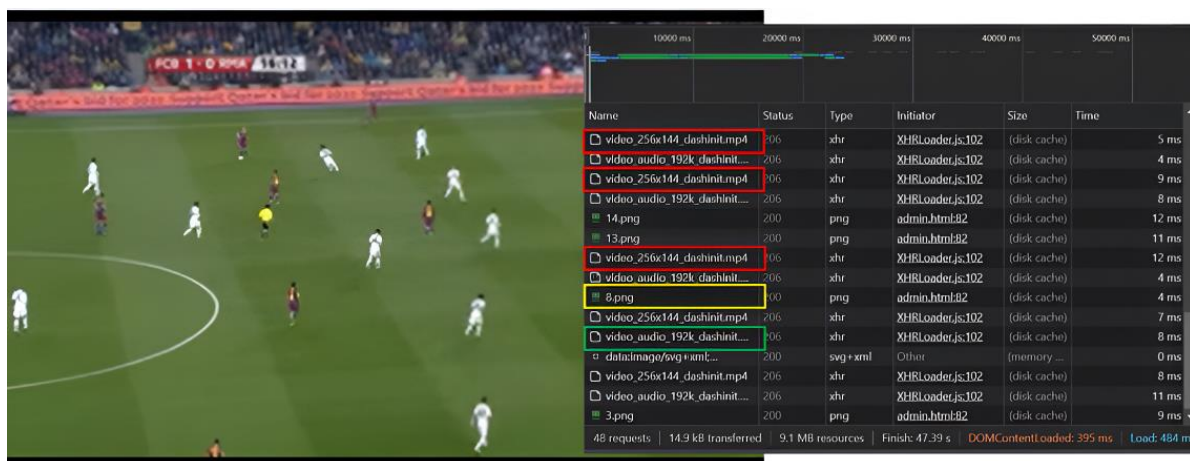


Fig. 11. Contenido multimedia a una resolución de 265x144 y bitrate de 250 kbps



Fig. 12. Contenido multimedia a una resolución de 1280x720 y bitrate de 2400 kbps

El tráfico de flujo del navegador (Chrome), donde se reproduce el contenido deportivo, permite visualizar las diferentes descargas al analizar el tráfico de la red. A través de este análisis, se puede observar qué archivo de inicialización se descarga para ser reproducido durante la transmisión del evento deportivo bajo demanda, asegurando la sincronización del video y el audio.

6 Discusión

6.1 Limitaciones

La limitación presente es el uso de un servidor local, debido a su capacidad restringida de ancho de banda y escalabilidad, lo que puede afectar a la calidad de transmisión y disponibilidad para un gran número de usuarios. Adicionalmente, su ubicación local limita el acceso geográfico, dificultando la distribución global. Para superar estas barreras sería necesario el uso de servidores en la nube, que ofrecen mayor capacidad de distribución y gestión del tráfico.

6.2 Conclusiones

Se diseñó y desarrolló una interfaz denominada "Receptor MPEG-DASH" en Python, capaz de procesar contenido multimedia bajo el estándar MPEG-DASH. Este sistema realiza la demultiplexación y decodificación de audio, video y metadatos desde un archivo TS (Transport Stream), generando un manifiesto MPD y archivos multimedia adaptados, los cuales se suben a un servidor web para su reproducción en un reproductor DASH.

El receptor obtiene el TS desde un equipo transmisor a través de una red local, separa los PIDs de video, audio y metadatos, y codifica el contenido multimedia en resoluciones variables utilizando FFmpeg. Los datos, como la posición del balón en un evento deportivo, se almacenan en un archivo de texto. Todo el contenido se organiza para asegurar una reproducción sincronizada en una página web.

El uso de un archivo .txt para almacenar los metadatos fue una decisión estratégica basada en la simplicidad y eficiencia. Aunque se pudo haber optado por formatos estructurados como JSON o XML, el formato .txt resultó ser una alternativa más ligera en términos de tamaño, al no incluir etiquetas ni estructuras complejas. Además, su fácil lectura por cualquier aplicación, sin necesidad de un analizador específico, permite una gestión más ágil de los datos, lo que resulta especialmente beneficioso en sistemas con recursos limitados.

Las pruebas realizadas validaron la funcionalidad del sistema, con tiempos promedio de procesamiento de 3 minutos y reproducción continua, incluso bajo variaciones de ancho de banda simuladas. La adaptación dinámica de calidad asegura una experiencia fluida, mostrando la posición del balón mientras se reproduce el partido de fútbol con actualizaciones cada 0.5 segundos, en donde, en caso de registrar errores en los metadatos, como valores fuera de las 45 regiones del campo, el algoritmo ignora el valor

durante 0.5 segundos, manteniendo la posición anterior hasta que se registre una nueva posición válida.

6.3 Trabajos Futuros

En trabajos futuros, se plantea desarrollar un plugin que garantice la compatibilidad del receptor MPEG-DASH con cualquier dispositivo, ampliando su accesibilidad. Además, se considera implementar un servidor web en la nube para alojar los archivos multimedia y el manifiesto MPD, facilitando su distribución global, y explorar la integración con un guante háptico para recibir metadatos sincronizados con partidos de fútbol transmitidos, realizando la experimentación debida con las personas con deficiencia visual que nos garantice el buen funcionamiento del sistema.

Referencias

1. Immersive Accessibility Project ImAc H2020, "Accessibility | Anglatecnic," <https://www.anglatecnic.com/project/fingertext/>, 2020. [Online]. Available: <https://www.anglatecnic.com/project/fingertext/>.
2. EasyTV Project, "Easing the access of europeans with disabilities EasyTV. A european horizon 2020 research project," <https://easytvproject.eu/>, 2020.
3. HBB4ALL Project, "Hybrid broadcast broadband for all | HBB4ALL," <http://pagines.uab.cat/hbb4all/>, 2020. [Online]. Available: <http://pagines.uab.cat/hbb4all/>.
4. T. M. Ugulio de Araújo, F. L. Silva Ferreira, D. A. Nobre dos Santos Silva, G. P. Neto, F. H. Lemos, D. Omaia, G. Lemos de Souza Filho y T. A. Tavares.: "Automatic generation of Brazilian sign language windows for digital TV systems". Journal of the Brazilian Computer Society, vol. 19, n° 2, pp. 107-125 (2013).
5. Anglatecnic. FINGERTEXT (ACCESSIBILITY AND DATA IN TV). <https://www.anglatecnic.com/project/fingertext/> (2020)
6. Villamarín, D., & Menéndez, J. M.: "Haptic Glove TV Device for People with Visual Impairment". Sensors, vol. 7, p. 21 (2021).
7. Villamarín, D., Narváez, A., Menéndez, J. M., & Larco, J., "Design and Development of an Assisted Ball Positioning System for Soccer Matches with an HBBTV Server Integrated to a Haptic TV Glove Accessible to Visually Impaired People" (2022).
8. Núñez, B. "Un estándar MPEG para streaming sobre HTTP". Barcelona (2013).
9. N. B. Benavides Cifuentes, "Desfragmentador del flujo de transporte (TS) y analizador de tablas para el sistema de televisión digital terrestre ISDB-T," Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, 2015.
10. A. Loachamin y D. Villamarín, " Algoritmo para la codificación y multiplexación de metadatos en un flujo de transporte (BTS): Transmisión de la localización del balón en video bajo demanda," en *JAUTI 2024*, República Dominicana, 2024.
11. CloudFlare, "¿Qué es H.264? | Codificación de vídeo avanzada (AVC)," [En línea]. Disponible en: <https://www.cloudflare.com/es-es/learning/video/what-is-h264-avc/> (2024)
12. J. A. Soto, "Códex de Audio Bluetooth. ¿Cuáles Son Los Mejores?," *Geeknetic*. [En línea]. Disponible en: <https://www.geeknetic.es/Guia/2521/Codecs-de-Audio-Bluetooth-Cuales-Son-Los-Mejores.html> (2023)

13. Dash.js, "Dash.js API Documentation", Dash.js, [En línea]. Disponible: <https://cdn.dashjs.org/latest/jsdoc/index.html>.
14. MetadataTVSoccer, *MetadataTVSoccer Repository*, GitHub. Disponible en: <https://github.com/MetadataTVSoccer/MetadataTVSoccer.git>

Algoritmo para la codificación y multiplexación de metadatos en un flujo de transporte (BTS): Transmisión de la localización del balón en video bajo demanda

Andrés Loachamin^[0009-0006-4410-6351] y Diego Villamarín^[0000-0001-9175-9570]

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Sangolquí, Ecuador
{amloachamin, dfvillamarin}@espe.edu.ec

Abstract. El desarrollo tecnológico ha transformado la televisión en una experiencia más inmersiva e interactiva, integrando elementos sensoriales que trascienden el audio y el video. Sin embargo, las personas con discapacidad visual aún enfrentan barreras para disfrutar plenamente de eventos deportivos como el fútbol, donde la narración del juego es esencial. Este trabajo propone el desarrollo de un algoritmo que incorpora metadatos de geolocalización del balón dentro de la cancha en un partido de fútbol en el flujo de transporte (TS), permitiendo su transmisión para TDT y videostreaming. Se desarrolló un algoritmo de codificación y multiplexación de metadatos que integra datos tridimensionales de la posición del balón en sincronía con el contenido audiovisual. La demultiplexación y decodificación de estos metadatos se realizó mediante GNU Radio y Python, permitiendo extraer información estructurada en tablas PSI/SI para su interpretación en tiempo real. Además, se implementó una interfaz basada en MPEG-DASH que convierte los metadatos a un formato compatible con servidores HTTP, facilitando la transmisión y visualización del contenido a través de una página web con un radar que refleja la ubicación del balón. En una fase futura, se integrará un guante háptico previamente probado, que traducirá los metadatos en vibraciones, dividiendo la cancha en 45 zonas para ofrecer una percepción táctil del juego. Las pruebas experimentales incluyeron la transmisión y recepción de señales con la tarjeta SDR Adalm Pluto, Set-Top Box y servidores de videostreaming. Los resultados demostraron una sincronización estable entre la reproducción del video y la transmisión de metadatos, garantizando una experiencia fluida y precisa para los usuarios. Este avance representa un paso significativo hacia la inclusión de personas con discapacidad visual en eventos deportivos transmitidos en tiempo real.

Keywords: Flujo de transporte, multiplexación de metadatos, tablas PSI/SI.

1. Introducción

La accesibilidad en los medios de comunicación es un desafío constante para las personas que tienen una deficiencia visual, quienes enfrentan barreras significativas para disfrutar de diversas actividades como el seguimiento de un partido de fútbol, ya que

este es un deporte altamente visual que requiere interpretar los movimientos de los jugadores y la pelota dentro de la cancha, es por ello que, continuamente surgen nuevas investigaciones enfocadas en dispositivos de TV accesible, como la audiodescripción, la cual se enfoca en narrar las escenas de la televisión [1][2][3]. Otra iniciativa, se aborda la posibilidad de generar una ventana de lenguaje de señas brasileñas de manera automática, conocido como LibrasTV [4].

A pesar del desarrollo tecnológico, a las personas con deficiencia visual se les dificulta conocer la ubicación de la pelota dentro de la cancha, ya que la narración deportiva no puede cubrir toda esta información. En trabajos previos realizados por los autores [5][6], se desarrolló un sistema semiautomático que codifica la posición del balón mediante un script en Python y un servidor HbbTV, el cual se conecta a una plataforma de IoT que transmite la información a un guante háptico, el cual interpreta la información mediante vibraciones en el guante, permitiendo a los usuarios entender lo que ocurre en el juego.

Con base en estos desarrollos, este proyecto propone un algoritmo para la transmisión de metadatos multiplexados dentro de un flujo de transporte Transport Stream (TS). El algoritmo procesa datos de coordenadas de ubicación de la pelota, permitiendo que cualquier receptor compatible con MPEG-2 TS o MPEG-DASH pueda interpretar y procesar la información. Además, las pruebas de simulación verifican el funcionamiento de la transmisión de datos, y adicionalmente, este trabajo sirve como base para futuras investigaciones sobre la implementación en hardware, de manera que las personas con deficiencia visual puedan seguir y disfrutar de un partido de fútbol tanto en tiempo real como en diferido.

Para estructurar este estudio, la Sección 2 describe la generación del flujo de transporte (TS), integrando los metadatos de ubicación del balón con audio y video, detallando paquetes, tablas PSI/SI y la función “create_metadata_ts”. La Sección 3 describe la transmisión del TS con audio, video y metadatos, utilizando Stream Xpress TS Player y el modulador DekTec DTU-215 bajo el estándar ISDB-T, además de su verificación con TS Analyzer ESPE. Finalmente, la sección 4 expone las limitaciones del estudio, presenta conclusiones y sugiere mejoras para futuras implementaciones.

2. Generación y transmisión del flujo de transporte (TS) con metadatos

La arquitectura implementada (ver Fig. 1) consta de una etapa de transmisión con el generador de TS, tarjeta de modulación, amplificador y antena VHF/UHF, y una etapa de recepción con Set Top Box, antena VHF/UHF y un televisor digital.

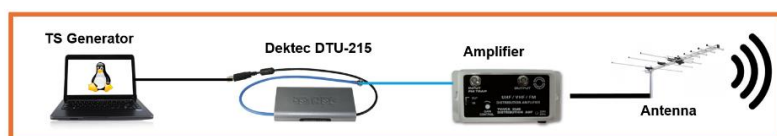


Fig. 1. Componentes de transmisión

2.1 Metodología para la geolocalización del balón dentro del campo

La geolocalización de la pelota dentro de la cancha de fútbol se representa en un sistema de coordenadas tridimensional (3D). Para ello, el campo se divide en una cuadrícula en el plano X-Y (Ver Fig. 2), dando como resultado un total de 15 regiones para identificar la posición de la pelota. Las divisiones constan de:

- Eje X (largo de la cancha): Se divide en 5 secciones (X1, X2, X3, X4 y X5), organizadas de derecha a izquierda.
- Eje Y (ancho de la cancha): Se divide en 3 secciones (Y1, Y2 y Y3), organizadas de arriba hacia abajo.

Adicionalmente, se considera la dimensión Z para representar la altura del balón en relación con los jugadores: Z1 para la pelota en el piso, Z2 hasta la altura de la cabeza de los jugadores, y Z3 para las alturas que sobrepasa a los jugadores.

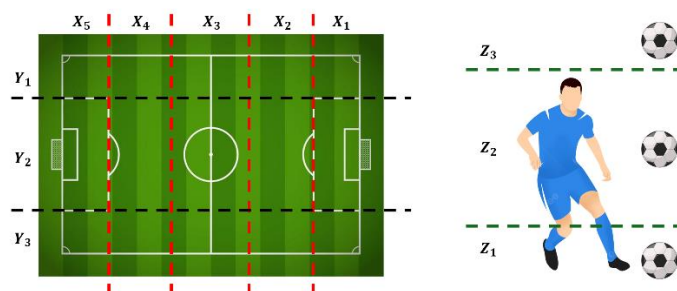


Fig. 2. Divisiones de la cancha a lo largo (eje X), ancho (eje Y) y alto (eje Z)

Con estas tres dimensiones, se pueden obtener 45 posiciones distintas del balón dentro de la cancha (ver Fig. 4), resultantes de la combinación de las 15 regiones en el plano X-Y y los 3 niveles de altura en el eje Z.

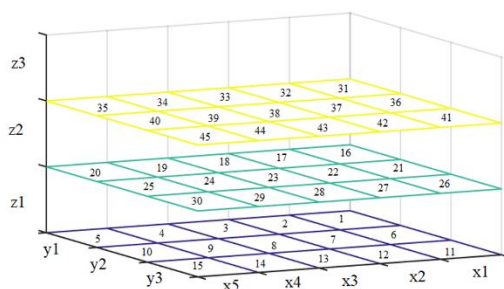


Fig. 4. Representación 3D – 45 posiciones distintas

El archivo “coordenadas.txt” es generado mediante un script en Python que registra las posiciones del balón en cada instante de muestreo, con un intervalo de 500 ms para evitar sobrecarga de datos o confusión. Cada vez que se detecta su ubicación, se le asigna una coordenada correspondiente al formato 3D, es decir, una de las 45 posibles posiciones representadas en la Figura 4, y se almacena en formato hexadecimal.

Cada línea del archivo representa una ubicación específica e incluye un valor hexadecimal. Por ejemplo, si la pelota está en el centro del campo antes del saque, la coordenada será 0x08; si se encuentra en el área del punto penal izquierdo, sobre la cabeza de los jugadores, la coordenada será 0x28; y si un jugador ejecuta un penal en el lado derecho, la coordenada será 0x06.

Este archivo se utilizará en la siguiente fase del proyecto para integrar la información de la ubicación de la pelota dentro del flujo de transporte, donde los datos serán multiplexados junto con los paquetes de audio y video.

2.2 Codificación de los formatos de audio y video

Antes de iniciar el proceso de multiplexación de audio, video y metadatos, es necesario codificar los formatos de audio y video para garantizar la compatibilidad de los códecs requeridos por OpenCaster2.4 para la multiplexación. Por esta razón, es necesario convertir el video de formato MP4 a AVI utilizando el software FFMPEG, manteniendo los parámetros del video original. Además, es necesario separar los paquetes de audio y video antes de multiplexarlos con los metadatos específicos para ajustar cada componente [7][8].

2.3 Paquetización de video y audio

Para el video y el audio, el proceso de paquetización consta de 2 etapas, en la primera, los flujos elementales ES (Elementary Stream) de video y audio se encapsulan en paquetes PES (Packet Elementary Stream); luego, en la segunda etapa, los paquetes PES son encapsulados en paquetes TS de tamaño fijo de 188 bytes [7][8].

2.4 Generación de tablas PSI/SI (Program Specific Information / Service Information)

La correcta generación de las tablas PSI/SI es fundamental para los procesos de multiplexación y demultiplexación efectiva de los paquetes de audio, video y metadatos que se encuentran en el flujo de transporte (TS), por lo que se optó por utilizar cuatro tablas, las cuales fueron desarrolladas mediante un script en Python (ver Fig. 5). Este código está disponible en GitHub, concretamente en la carpeta “Metadata Transmission to DTT and Videostreaming” [10].

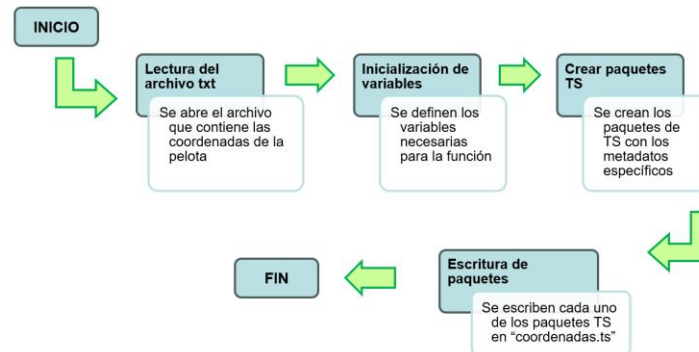


Fig. 5. Diagrama de flujo del script Python para la generación de tablas PSI/SI y metadatos.

- **Tabla PAT.** Actúa como un índice general que indica qué programas están disponibles en el flujo de transporte. En este caso, se tiene un identificador asociado con la PMT con un valor de 16.
- **Tabla NIT.** Proporciona información sobre la red de transmisión, incluyendo el nombre de la red y el nombre del flujo de transporte, los cuales están definidos como "AndresTV" y "CoordenadasTS", respectivamente.
- **Tabla SDT.** Ofrece descripciones detalladas de los servicios (canales), incluyendo el nombre del servicio y el proveedor del servicio, que en este caso corresponden a "FutbolAccesible" y "ESPE", respectivamente.
- **Tabla PMT.** Describe los componentes individuales de cada programa dentro del flujo de transporte. Especifica los PIDs asociados a cada tipo de contenido. En la Tabla 1 se muestra los PIDs utilizados en este proyecto.

Tabla 1. Valor de PIDs de cada programa.

Programa	PID
Audio	2065
Video	2075
Metadatos	2085

Generación del paquete de metadatos. Para integrar las coordenadas del archivo "coordenadas.txt" al flujo de transporte, se desarrolló la función "create_metadata_ts", cuya finalidad es generar los paquetes de metadatos en el formato Transport Stream (TS) para posteriormente ser multiplexados junto con el flujo de audio y video.

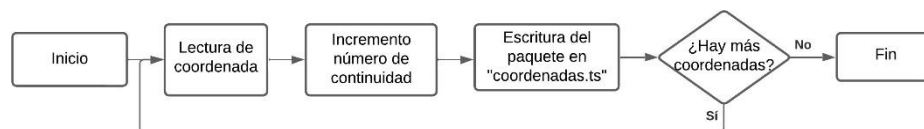


Fig. 6. Generación del paquete de metadatos.

Según el diagrama de flujo (ver Fig. 6), la función inicia extrayendo las coordenadas del balón desde el archivo de texto “coordenadas.txt”, donde cada registro del archivo representa la posición del balón en el campo de juego en un instante determinado y es actualizada en intervalos de 0.25 segundos. Una vez obtenida la coordenada, la función genera un paquete de 188 bytes, estructurado de la siguiente estructura:

- **Primer byte:** Indica el byte de sincronización e inicio del paquete, con un valor de 0x47.
- **Segundo y Tercer byte:** Identificador único (2085) asignado a los paquetes de metadatos, permitiendo que el receptor los diferencie de los paquetes de audio y video.
- **Cuarto byte:** Contador de continuidad (0x10-0x1F) que garantiza el orden correcto de los paquetes durante la transmisión.
- **Quinto byte:** Contiene la información de la posición de la pelota en el campo de juego.
- **Bytes restantes:** Relleno con valores cero para completar el tamaño estándar de 188 bytes, garantizando la compatibilidad con el formato Transport Stream.

Una vez estructurado, el paquete se almacena en un archivo binario “coordenadas.ts”, que posteriormente se utilizará en la fase de multiplexación junto con el audio y video. Este proceso se repite de manera iterativa hasta que todas las coordenadas han sido procesadas y escritas en el archivo de salida.

2.5 Generación del Transport Stream

Hasta ahora, se han generado de manera independiente los paquetes de audio y video, así como las tablas PSI/SI, por lo que es necesario multiplexarlos en un único flujo de transporte mediante el comando “tschrmuxer” de OpenCaster (ver Fig. 7).

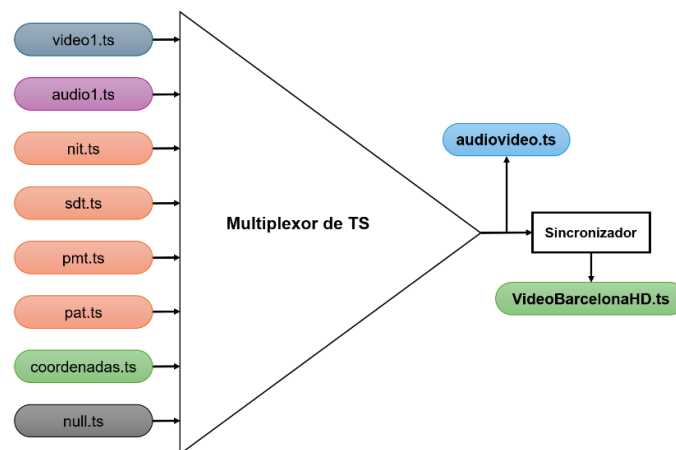


Fig. 7 Proceso de multiplexación de los archivos TS.

Finalmente, se usa el comando “tsstamp audiovideo.ts 29958294 > VideoBarcelonaHD.ts”, donde el comando tsstamp permite ajustar las marcas de tiempo de los paquetes, asegurando una alineación temporal precisa; por otro lado, el valor 29958294 representa un ajuste de tiempo en unidades de 90 kHz, basado en los Program Clock References (PCR) o Presentation Time Stamps (PTS), con el fin de evitar desfases entre el audio y el video. Como resultado, el archivo de salida VideoBarcelonaHD.ts contendrá un flujo correctamente sincronizado para su reproducción.

3. Pruebas de evaluación y evaluación de resultados

Una vez que se han multiplexado los paquetes de audio, video y metadatos en un único flujo de transporte, se debe verificar que los metadatos se hayan multiplexado correctamente, para ello, se debe realizar un análisis del TS utilizando el software "TS Analyzer ESPE" [9], el cual permite identificar los PIDs de las tablas, analizar cada tabla en detalle. A continuación, se presenta un análisis del contenido del paquete TS denominado “coordenadas.ts” (ver Fig. 8), que incluye el byte de sincronismo, el PID de la tabla (2085), el contador de continuidad (0x19), la coordenada de ubicación (0x0E) y el contenido de carga útil, la cual es rellenada de ceros para cumplir con la longitud requerida de 188 bytes del TS.

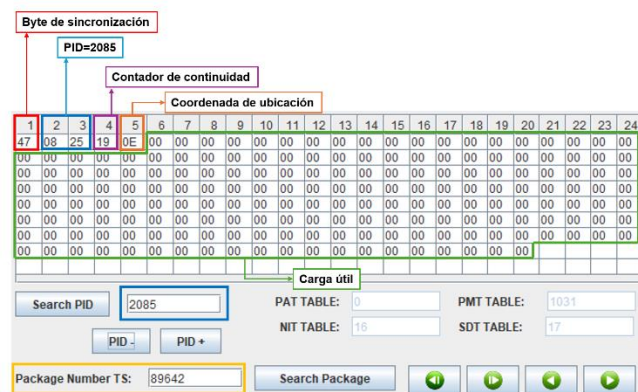


Fig. 8. Análisis del archivo “coordenadas.ts”

3.1 Configuración del equipo de transmisión

Para transmitir el paquete TS con las coordenadas de ubicación, se utilizó el programa Stream Xpress TS Player y el modulador DekTec DTU-215, en el cual, se debe cargar el archivo “VideoBarcelonaHD.ts” y configurar los parámetros de transmisión según el estándar ISDB-T. Este artículo está enfocado exclusivamente en la transmisión de la señal con el flujo de transporte que contiene los paquetes de audio, video y metadatos con las coordenadas de ubicación de la pelota, en otra parte del proyecto, se trabajó en la recepción de la señal y la representación de los metadatos tanto en ISDB-T con un receptor específico para interpretar estos metadatos, embebido en una SDR [10] y en un reproductor de videostreaming basado en MPEG-DASH [11].

4. Discusión

4.1 Limitación

El sistema desarrollado está diseñado para trabajar con videos pregrabados, donde los datos de ubicación de la pelota se registran manualmente en el archivo “coordenadas.txt” y se sincronizan con los flujos de audio y video, lo cual implica que el sistema dependa de un previo registro de datos, lo que limita su aplicabilidad en escenarios de transmisiones deportivas en tiempo real debido a que la detección de la ubicación de la pelota y la sincronización con el audio y video deben realizarse de manera automática y continua, lo cual plantea un reto técnico adicional.

4.2 Conclusiones

En este proyecto se desarrolló un algoritmo para la integración y transmisión de metadatos multiplexados en el flujo de transporte en el extracto de un video de un partido de fútbol, con la finalidad de mejorar la accesibilidad de eventos deportivos para personas con deficiencia visual, donde este modelo permite la integración de metadatos específicos con las coordenadas de la ubicación de la pelota dentro de la cancha, las cuales posteriormente pueden ser interpretadas por los receptores. Además, durante el desarrollo del proyecto se llevó a cabo un análisis de las tecnologías de transmisión de datos y sincronización de audio y video, así como la generación y multiplexación de metadatos específicos, lo cual permitió una comprensión más profunda en cuanto a las diferentes técnicas y estándares utilizados en la transmisión y recepción de señales de televisión digital terrestre bajo el estándar ISDB-T, con la finalidad de brindar soluciones innovadoras enfocadas en la inclusión de personas con deficiencia visual.

En este proyecto, se desarrolló un algoritmo de multiplexación de metadatos específicos mediante un script en Python, que demostró ser eficiente para la integración de información adicional en el flujo de transporte, ya que permite la integración adicional de metadatos, los cuales corresponde a las coordenadas de la ubicación de la pelota dentro de la cancha de fútbol, asegurando que los datos se transmitan de manera sincronizada juntamente con los paquetes de audio y video, y además de mantener la integridad y calidad del flujo de transporte, también aseguró que los receptores puedan recibir correctamente la señal transmitida, para posteriormente decodificar y demultiplexar correctamente los paquetes de audio, video y metadatos mediante los PIDs asignados. Por lo tanto, este proyecto proporciona una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la televisión digital terrestre, contribuyendo al avance de la accesibilidad en medios audiovisuales.

4.3 Trabajos futuros

Se propone continuar con las investigaciones y desarrollar un programa o algoritmo mucho más robusto que permitan la transmisión del flujo de transporte en tiempo real, por lo que es esencial continuar optimizando el algoritmo de multiplexación para mejorar la eficiencia y evitar cualquier tipo de inconveniente y/o retraso en la trans-

misión, además, se deben realizar pruebas de transmisión y recepción en diferentes escenarios con múltiples usuarios para verificar la robustez y adaptabilidad del sistema ante cualquier tipo de entorno. Además, se propone el desarrollo e implementación de un sistema de inteligencia artificial enfocado en el reconocimiento de la pelota dentro de la cancha en tiempo real, donde el sistema procesaría los cuadros de video en tiempo real para extraer automáticamente los datos de la ubicación de la pelota y poder generar los metadatos para ser transmitidos junto con la señal de video, lo cual eliminaría la necesidad de ingresar manualmente la ubicación de la pelota en el flujo de transporte y mejoraría significativamente la experiencia de los usuarios con deficiencia visual para disfrutar de transmisiones deportivas en tiempo real.

Referencias

1. Immersive Accessibility Project ImAc H2020, “Accessibility | Anglatecnic,” <https://www.anglatecnic.com/project/fingertext/>, 2020. [Online]. Available: <https://www.anglatecnic.com/project/fingertext/>.
2. EasyTV Project, “Easing the access of europeans with disabilities EasyTV. A european horizon 2020 research project,” <https://easytvproject.eu/>, 2020.
3. HBB4ALL Project, “Hybrid broadcast broadband for all | HBB4ALL,” <http://pagines.uab.cat/hbb4all/>, 2020. [Online]. Available: <http://pagines.uab.cat/hbb4all/>.
4. T. M. U. de Araújo, F. L. S. Ferreira, D. A. N. dos Santos Silva, F. H. Lemos, G. P. Neto, D. Omaia, G. L. de Souza Filho, and T. A. Tavares, “Automatic generation of Brazilian sign language windows for digital TV systems,” *Journal of the Brazilian Computer Society*, vol. 19, no. 2, pp. 107–125, 2013. [Online]. Available: <https://journal-bcs.springeropen.com/articles/10.1007/s13173-012-0086-2>.
5. D. Villamarín, A. Narváez, J. M. Menéndez, y J. Larco, «Design and Development of an Assisted Ball Positioning System for Soccer Matches with an HBBTV Server Integrated to a Haptic TV Glove Accessible to Visually Impaired People», en *Applications and Usability of Interactive TV*, M. J. Abásolo y G. F. Olmedo Cifuentes, Eds., en *Communications in Computer and Information Science*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022, pp. 85–102. doi: 10.1007/978-3-031-22210-8_6.
6. D. Villamarín y J. M. Menéndez, «Haptic Glove TV Device for People with Visual Impairment», *Sensors*, vol. 21, n.o 7, Art. n.o 7, ene. 2021, doi: 10.3390/s21072325.
7. D. Villamarín, M. A. Illescas, G. Olmedo, and R. L. Cueva, “Generating a transport stream for digital terrestrial television system in conformance with ISDB-tb standard,” in *2013 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)*, 2013, pp. 1–5.
8. T. J. Moncayo Flores y M. E. Pozo Caicedo, “Generación del flujo único de paquetes de transporte TS de acuerdo a la norma ISDB-Tb y desarrollo de una aplicación para su análisis”, *bachelorThesis, QUITO/EPN/2014*, 2014. Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7304>.
9. D. Villamarín, G. Olmedo, R. Lara, y M. A. Illescas, “Generación de transport stream con audio, video y datos de Interactividad para el sistema de televisión digital terrestre ISDB-Tb”, *MASKAY*, vol. 2, n.o 1, Art. n.o 1, nov. 2012, doi: 10.24133/maskay.v2i1.147.
10. MetadataTVSoccer, *MetadataTVSoccer Repository*, GitHub. Disponible en: <https://github.com/MetadataTVSoccer/MetadataTVSoccer.git>

Algoritmo para la recepción y tratamiento de metadatos para la localización de la pelota de un partido de fútbol en transmisiones de Televisión Digital Terrestre

Luis Gallo ^[0009-0001-9034-3714] y Diego Villamarín ^[0000-0001-9175-9570]

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Sangolquí, Ecuador
{lagallo1, dfvillamarin}@espe.edu.ec

Abstract. El avance tecnológico ha impulsado el desarrollo de soluciones inclusivas en televisión digital, facilitando la accesibilidad para personas con discapacidades sensoriales. Este estudio se centra en la demultiplexación y decodificación de metadatos en el flujo de transporte (TS) MPEG-2, con el objetivo de mejorar la accesibilidad de la televisión para personas con deficiencias visuales, permitiéndoles seguir eventos deportivos como un partido de fútbol en tiempo real, mediante dispositivos hápticos para TV Accesible. Para implementar este sistema, se realizaron pruebas de transmisión y recepción de señales utilizando la tarjeta SDR Adalm Pluto y una antena UHF/VHF. Mediante librerías de GNU Radio, se extrajo la información de la tabla PMT para identificar servicios de metadatos específicos en el TS. La demultiplexación y la extracción de metadatos se realizaron en Python 2.7, y los datos obtenidos se integraron en una aplicación en Arduino que activa LEDs según la posición de la pelota en función de los metadatos recibidos, esto con el fin de validar y evaluar el rendimiento del sistema. Los resultados mostraron un sincronismo bueno entre la reproducción de video en formato TS y la transmisión de datos, proporcionando una experiencia continua y coherente para los espectadores con deficiencias visuales, para quienes el ligero desincronismo es imperceptible.

Keywords: Transport Stream, TV Accesible, demultiplexación de metadatos, tablas PSI/SI, desincronismo.

1 Introducción

Con el pasar de los años la tecnología se ha convertido en una herramienta muy útil para mejorar la calidad de vida de las personas, gracias a que los avances tecnológicos son innumerables, existen diversos proyectos que se enfocan en mejorar la calidad de vida de ciertos grupos de personas que presentan algún tipo de discapacidad, un término que ha sido de suma importancia para estos grupos de personas es la inclusión. Este trabajo se enfoca en personas que presentan deficiencia visual, existen algunos trabajos previos [1] [2] [3] [4] que tienen enfoque en la accesibilidad, en estos trabajos se trata de tener facilidad de acceso a las personas con discapacidades a medios y contenidos presentes en televisión, para esto se realiza un enfoque multilingüe con la cual se realiza adaptación a lenguaje de señas para personas con deficiencia auditiva y descripción de audio para personas con deficiencia visual, sin embargo esto es una

solución parcial puesto que no se puede aplicar en varios contextos o programas que el usuario pueda observar, como es el caso de la transmisión de algún deporte en vivo.

En los trabajos propuestos anteriormente se tiene un mayor enfoque para personas con deficiencia auditiva, y solo se utiliza la descripción de audio para las personas con deficiencia visual, aunque la audiodescripción es realmente un gran paso para la accesibilidad a la TV, resulta tan solo una solución parcial. En trabajos previos ya se desarrolló un sistema con el cuál una persona con deficiencia visual puede conocer la ubicación de un balón en un partido de fútbol, utilizando un sistema de posicionamiento asistido semiautomático. En estos trabajos se detalla el diseño y desarrollo de un guante háptico, el cuál toma el posicionamiento del balón dentro de la cancha de fútbol y lo envía a los motores hápticos que tiene incorporado, estos motores generan vibraciones que permiten que las personas con deficiencia visual conozcan la posición del balón de forma sincronizada con la narración del partido, aunque esta es una gran alternativa esta presenta algunas debilidades ya que al tener un seguimiento semiautomático, se necesita que una persona se encuentre generando la ubicación del balón y este envíe esta información a un servidor IoT para que este lo transmita al guante háptico, esto se genera durante un partido en vivo [5][6][7].

El alcance de este trabajo está enfocado en la demultiplexación, decodificación, e interpretación de los metadatos que se encuentran dentro del flujo de transporte (TS), este contiene toda la información que se desea transmitir, por lo cual se debe realizar un proceso de identificación y tratamiento de los metadatos para poderlos interpretar mediante MPEG-2, se realizó pruebas de simulación que ayudaran a validar que la identificación y el procesamiento de los datos sean los correctos y se encuentren acorde y sincronizados con los demás datos recibidos tanto de audio, video y datos, es importante mencionar que para la recepción se utilizó un TS que ya contenía los metadatos con la información de la pelota dentro de la cancha como se detalla en el algoritmo de multiplexación [9].

Para la recepción, se desarrolló un algoritmo el cuál presenta una interfaz gráfica que muestra la reproducción del video e imprime los datos recibidos del archivo TS, para verificar el sincronismo se utilizó la implementación a escala de una cancha de fútbol en la cual se encienden focos indicadores LED de acuerdo a la geo-localización de la pelota, con esto se garantiza que la vibración del guante háptico se encuentre sincronizado con la narración del partido, esto ayudará a la realización de trabajos futuros los cuales puedan plantear soluciones óptimas para que toda la información recibida de la geolocalización de la pelota posea sincronismo con la narración del partido, esto con el fin de integrarlos con el guante Háptico de TV accesible, para que su funcionalidad no solo esté disponible para partidos en vivo sino también se lo pueda utilizar en partidos en diferido o pregrabados.

Para estructurar este estudio, el capítulo 2 describe el desarrollo del receptor ISDB-T utilizando GNU Radio, así como la creación de la interfaz gráfica en Python, detallando cada uno de sus componentes. Además, se explica la implementación en Arduino para su integración en el sistema físico. El capítulo 3 presenta los resultados obtenidos en la recepción y procesamiento de datos, así como la reproducción simultánea del video junto con su representación física. Por su parte, el capítulo 4 evalúa el

desempeño del sistema, incluyendo un cuadro que muestra, en segundos, la posición de la pelota tanto en la simulación como en el video. Finalmente, el capítulo 5 expone las conclusiones y proporciona directrices para futuras investigaciones.

2 Desarrollo

2.1 Receptor ISDB-Tb en GNU RADIO

A continuación, se presenta el diseño del receptor de señales (ver Fig. 1) para lo cual se utiliza un diseño ya realizado [8], se realiza una configuración para establecer los bloques que se utilizarán en este caso para recibir las señales, además se realiza modificaciones en el receptor se añade un bloque el cual muestra en la ventana de Python el tipo de archivos que se reciben en la transmisión, se puede observar el diseño del receptor.

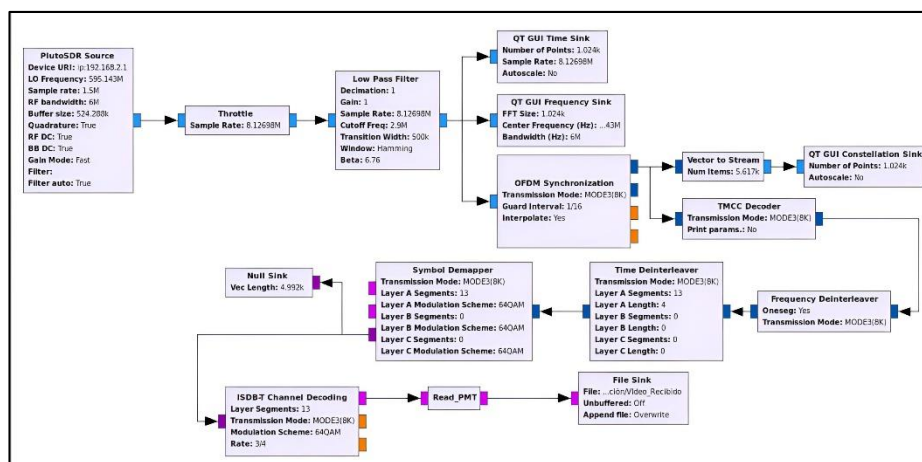


Fig. 1. La figura muestra cada uno de los bloques necesarios para crear un receptor ISDB-Tb.

A continuación, se realiza una configuración y programación del bloque Read_PMT, que tiene como función reconocer y presentar qué servicios se encuentran presentes en la señal recibida lo cual establece si se trata de audio, voz o datos.

2.2 Desarrollo de la Interfaz Gráfica

Con ayuda del entorno de desarrollo Spyder para Python se desarrolló una interfaz gráfica que sea fácil de utilizar y no cause ningún inconveniente al momento de realizar la multiplexación y el tratamiento de los metadatos (ver Fig. 2).

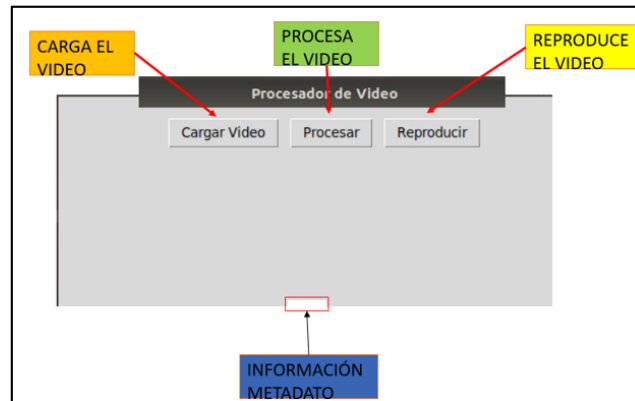


Fig. 2. Interfaz Gráfica

A continuación, se presenta una descripción de cada uno de los componentes de la interfaz gráfica.

Carga el Video. – al presionar el botón, se puede observar el directorio en la cual se establece la dirección donde se encuentra el video TS y se carga del archivo (.TS) para continuar con el proceso.

Procesa el Video. – al presionar este botón se generan varios procesos; primero verifica que el video se encuentra cargado o si presenta algún problema se presenta un mensaje de error. El segundo proceso revisa el tamaño del archivo y el número de paquetes existentes para lo cual se divide el tamaño del archivo para 188 bytes que se establece para la transmisión de archivos TS. El tercer proceso es la obtención del metadato el cual se encuentra en el PID 2085 para el proceso realizado se utiliza el valor hexadecimal que es el PID 825, aquí se establece cada metadato, se realiza un contador para verificar la cantidad de metadatos recibidos, y cada uno de estos metadatos se guardan en un archivo .txt generado con el fin de utilizar el archivo para ejecutar los metadatos y el video simultáneamente.

Reproduce el Video. – se envían datos al Arduino e imprime los datos leídos en el cuadro de texto que se encuentra al final de la interfaz gráfica.

Como se debe tener sincronismo entre la reproducción del video y los datos que se muestran en el Arduino se realiza un retraso de la reproducción del video de 2 segundos, tiempo aproximado en el que se cargan los datos al Arduino, además como se conoce que los datos vienen ingresados cada 0.5 segundos ese será el tiempo que se demora en mostrar el siguiente metadato. Mientras se realiza la reproducción del video y él envió de datos al Arduino se imprime el valor del metadato que ingresa al Arduino, incluyendo en la interfaz gráfica, un cuadro de texto para leer el valor del metadato, con esto se puede observar si existe algún error al leer el dato.

2.3 Implementación en Arduino

La información del metadato viene de acuerdo con el posicionamiento del balón de fútbol dentro de la cancha, para la implementación se establece la utilización de 18

leds que se encenderán de acuerdo al metadato leído. Para comprender el funcionamiento de los leds en la cancha se procede con la división de la cancha en 2 ejes los cuales son X y Y, presenta 5 divisiones en X y 3 divisiones en Y generando un total de 15 cuadrantes. Los metadatos recibidos van en valores del número 1 al número 45 en el cuál no solo se presenta una división en 2D, sino una división en 3D, que contiene 3 alturas. Para no utilizar un total de 45 leds, se realiza la división de la altura en 3 segmentos, los cuales encenderán 3 leds adicionales, los cuales representan altura baja hasta la rodilla del jugador, altura media desde las rodillas del jugador hasta la altura de su cabeza y la tercera altura representa a la posición sobre la cabeza del jugador. (ver Fig. 3)

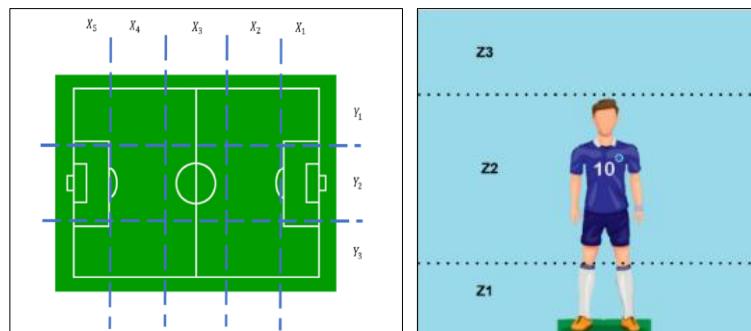


Fig. 3. Divisiones en la cancha eje X, Y, Z

2.4 Implementación de forma física para la simulación de los metadatos

Se realiza una implementación utilizando una placa Arduino Uno, que tiene la función de encender los leds dependiendo la posición encontrada, la cual tiene como función validar la información del metadato recibido, comprobando el funcionamiento del receptor generado. (ver Fig. 4)

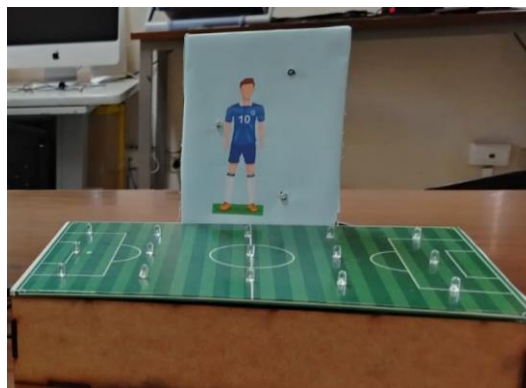


Fig. 4. Implementación Física de la cancha de fútbol.

Se utiliza 18 leds para mostrar las 45 posiciones con las siguientes especificaciones: Si el metadato corresponde al rango de [1 al 15] se encenderá el led de la altura uno. Si el metadato corresponde al rango de [16 al 30] se realiza una configuración en la cual se reajusta los valores en el siguiente sentido si el metadato es el 16 se enciende el led 1 y se encenderá el led que corresponde a la altura 2, así sucesivamente hasta obtener que si el metadato es el valor 30 se encenderá el led 15. Si el metadato corresponde al rango de [31 al 45] se realiza una configuración para que se encienda el led 3 de la altura, y se realiza el reajuste de los metadatos de la siguiente manera, si el metadato es el número 31 se encenderá el led 1 y así sucesivamente hasta llegar al metadato 45 en el cual se encenderá el led 15.

3 Pruebas y resultados obtenidos

3.1 Prueba de recepción de la señal

Se utiliza un video TS previamente generado, el cual contiene los metadatos para su transmisión. Para esto se utiliza una antena UHF/VHF para la transmisión y se utiliza un SDR Adalm Pluto para y recibir la señal (ver Fig. 5).

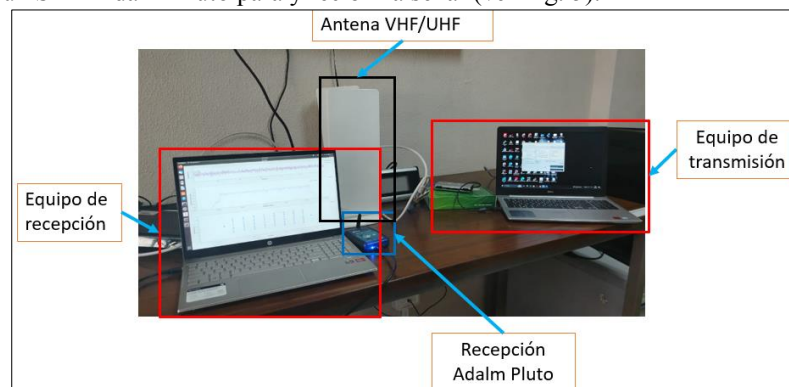


Fig. 5. Implementación Física de la cancha de fútbol.

Se puede observar las gráficas de la señal que se obtienen en la recepción. La primera gráfica muestra la señal recibida en el dominio del tiempo, además se presenta la gráfica que representa el nivel de potencia en el dominio de la frecuencia para los 6 MHz de ancho de banda siendo este de -40 dB, finalmente se presenta el diagrama de constelación con una modulación de 64QAM (ver Fig. 6).

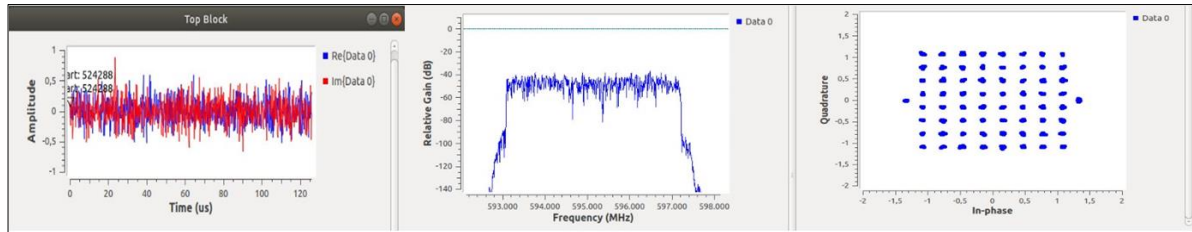


Fig. 6. Gráficas de la señal recibida

Una vez que se verifica la recepción de la señal que contiene el video, esto se logra con el bloque Read_PMT, se puede observar la información de la tabla PAT la cual indica cuales son los tipos de información recibida, la Información 1 corresponde al PID 2065 archivo de audio, la información 2 corresponde al PID 2075 archivo de video y la información 3 corresponde al PID 2085 archivos de metadatos, a partir de esta información se verifica que el archivo recibido concuerda con la señal transmitida (ver Fig. 7).

```

----- Information 1 -----
Stream Type Identifier: 2 en hex: 0x2 : Video Conforme ITU Recommendation H.262
Elementary Stream PID: 2065 en hex 0x811
ES information length: 0 en hex: 0x0
-----
----- Information 2 -----
Stream Type Identifier: 3 en hex: 0x3 : Audio Conforme ISO/EC 11172-3
Elementary Stream PID: 2075 en hex 0x81b
ES information length: 0 en hex: 0x0
-----
----- Information 3 -----
Stream Type Identifier: 21 en hex: 0x15 : Metadata transportada por un paquete PES
Elementary Stream PID: 2085 en hex 0x825
ES information length: 0 en hex: 0x0
-----
Stream type identifier: [2, 3, 21]
Elementary Stream PID: [2065, 2075, 2085]
ES information length: [0, 0, 0]
TMCC OK
    
```

Fig. 7. Información de archivo recibido

3.2 Tratamiento del archivo recibido

Al terminar la recepción de la señal el software GNU Radio crea el archivo .ts, para realizar el tratamiento de los datos del archivo generado se utiliza la interfaz gráfica, en la cual se carga el Video_Recibido, y se presiona el botón de Procesar con esto se genera un archivo .txt con el nombre de Datos_PID_825.txt. El archivo Datos_PID_825.txt contiene la información de los metadatos que contiene el video TS, el cual como se mencionó cuenta con 45 posiciones de la pelota dentro de la cancha.

3.3 Pruebas de simulación y reproducción del video

Con los datos separados en el archivo .txt, se procede a realizar la reproducción del video y el envío de datos al Arduino. Se presenta la sincronización que se tiene entre el video y la ejecución de la simulación en Arduino. Se puede observar en la pantalla la posición de la pelota que se encuentra en el número 13 con una altura al ras del

suelo por ese motivo el led encendido es de color verde y el led de la posición 13 (ver Fig. 8).



Fig. 8. Simulación posición 13

Al momento de presentar la simulación y el video que se encuentra reproduciendo es difícil identificar la posición del metadato, por este motivo se presenta la captura de pantalla al momento en el que el video se encuentra reproduciéndose en simultaneo con los datos recibidos por el Arduino.

3.4 Evaluación del sistema

Se realizó las diferentes pruebas de transmisión de los metadatos enviados, en las cuales se puede observar que no existe una sincronización total, esto debido al tiempo de carga de los datos en la placa Arduino, y a la reproducción del video. Además, este retardo se debe al tiempo de muestreo de los metadatos que es de 0.5 s, ya que existe tiempos en los que la pelota cambia de posición en un tiempo menor a ese lapso.

Por lo tanto, se procede a cronometrar el tiempo entre el cambio de la posición de la pelota en el video, y el cambio reflejado en la simulación, con lo que se obtiene los datos de la medición en la Tabla 1.

Con el valor de la media calculada en segundos y tomando en cuenta que los metadatos son transmitidos cada 0.5 segundos encontramos el valor del porcentaje de sincronización que se presenta.

$$\text{Sincronización} = 100\% - \frac{(0.119) \cdot 100\%}{0.5}$$

$$\text{Sincronización} = 76.2\%$$

Table 1. Tiempo de diferencia entre video y simulación

Cambio de posición de la pelota	En el video [s]	En la simulación [s]	Video-simulación [s]
1	10,68	10,78	0,10
2	30,43	30,66	0,23
3	40,85	40,89	0,04
4	45,96	45,96	0
5	51,17	0,513	0,13
6	60,35	60,49	0,14
7	80,98	81,16	0,18
8	101,22	101,43	0,21
9	106,68	106,84	0,16
10	130,25	130,25	0
		Promedio	0,119

Aunque se obtiene una sincronización del 76.2% se debe tener en cuenta que la medición está en milisegundos, por lo cual, al momento de comparar la narración del partido y la posición de la pelota en la simulación, el 24.4% de error en el sincronismo es casi imperceptible para las personas videntes, para las personas con deficiencia visual va ser totalmente imperceptible.

4 Conclusiones y trabajos futuros

Se realizaron dos pruebas para la recepción de la señal, cada una con configuraciones distintas. En la primera, se empleó la tarjeta SDR como transmisor y receptor, operando simultáneamente. Para la segunda prueba la SDR actúa únicamente como receptor con una antena UHF/VHF. Estas pruebas confirmaron la capacidad del receptor para cumplir correctamente su función, replicando con éxito el proceso realizado en la primera prueba. Ambos ensayos demostraron la efectividad del sistema de recepción, validando su funcionamiento en condiciones distintas de transmisión.

Se diseñó un modelo a escala de una cancha de fútbol que cuenta con 18 leds para indicar las posiciones de la pelota en las tres dimensiones. Durante la simulación, los LEDs se encienden de acuerdo al metadato recibido, y este tiene concordancia con la posición de la pelota observada en el video, garantizando el correcto funcionamiento y sincronismo de los metadatos recibidos.

Se logró una sincronización del 76.2% debido a que se debe considerar el tiempo que se demora en iniciar la placa Arduino, fue necesario definir un retraso en la reproducción del video, para tener concordancia entre la narración del partido y la información del metadato enviado, en la evaluación se determinó que el porcentaje de desincronismo es imperceptible para las personas con deficiencia visual.

Finalmente, con este trabajo se comprobó que los metadatos de la ubicación de la pelota al interior de la cancha, pueden venir dentro del TS guardando el sincronismo adecuado con el audio y el video.

Para un trabajo futuro se sugiere realizar la implementación de un receptor especializado y/o comercial que cuente con mayor velocidad de procesamiento e integración con los dispositivos hápticos para TV Accesible.

Para realizar nuevas implementaciones, se propone realizar un estudio mayor ya no solo para un deporte específico sino para cualquier otro contenido audiovisual permitiendo que las personas con deficiencia visual puedan acceder a la televisión digital. En el caso de ser aplicado a otros deportes se podría realizar una nueva interfaz que permita escoger entre varios deportes para dar funciones específicas a las vibraciones del guante y así puedan disfrutar de programas como los Juegos Olímpicos.

Referencias

1. Immersive Accessibility Project ImAc H2020, "Accessibility | Anglatecnic," <https://www.anglatecnic.com/project/fingertext/>, 2020. [Online]. Available: <https://www.anglatecnic.com/project/fingertext/>.
2. EasyTV Project, "Easing the access of europeans with disabilities EasyTV. A european horizon 2020 research project," <https://easytvproject.eu/>, 2020.
3. HBB4ALL Project, "Hybrid broadcast broadband for all | HBB4ALL," <http://pagines.uab.cat/hbb4all/>, 2020. [Online]. Available: <http://pagines.uab.cat/hbb4all/>.
4. De Araújo, T. M. U., Ferreira, F. L. S., dos Santos Silva, D. A. N., Lemos, F. H., Neto, G. P., Omaia, D., de Souza Filho, G. L., & Tavares, T. A. (2013). Automatic generation of Brazilian sign language windows for digital TV systems. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 19 no. 2, Article 2. <https://doi.org/10.1007/s13173-012-0086-2>
5. Villamarín, D., Narváez, A., Menéndez, J. M., & Larco, J. (2022). Design and Development of an Assisted Ball Positioning System for Soccer Matches with an HBBTV Server Integrated to a Haptic TV Glove Accessible to Visually Impaired People. En M. J. Abásolo & G. F. Olmedo Cifuentes (Eds.), *Applications and Usability of Interactive TV* (Vol. 1597, pp. 85-102). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22210-8_6.
6. Villamarín, D., & Menéndez, J. M. (2021). Haptic Glove TV Device for People with Visual Impairment. *Sensors*, 21(7), 2325. <https://doi.org/10.3390/s21072325>
7. Villamarín Zapata, D. F. (2023). Diseño y desarrollo de un guante háptico para accesibilidad en televisión de personas con deficiencias visuales [PhD Thesis, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.77234>
8. ABNT. (2008b-07-18). Televisión Digital Terrestre: Receptores. ABNT.
9. A. Loachamin y D. Villamarín, "Algoritmo para la codificación y multiplexación de metadatos dentro del flujo de transporte (BTS) para la accesibilidad a la TV de personas con deficiencia visual," en *JAUTI 2024*, República Dominicana, 2024.

Integración de contenidos en TVC+ a través de la segunda pantalla

Julio-Enrique Pons-Iglesias and Dominador-Yosvel De-Lima-Torres and
Joaquín-Danilo Pina-Amargós^[0000-0003-4619-849X] and Raisa
Socorro-Llanes^[0000-0002-2627-1912] and Ariel-Alfonso
Fernández-Santana^[0000-0002-4739-3230]

Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), Cuba.
jpina@ceis.cujae.edu.cu

Resumen La televisión cubana, con su enfoque centralizado, ha sido criticada por la homogeneidad y simplicidad de sus contenidos, lo que resalta la necesidad de diversificar la oferta televisiva y fomentar nuevas formas de interacción con la audiencia. En este contexto, la segunda pantalla surge como una herramienta prometedora para revitalizar la experiencia televisiva en Cuba. Esta tecnología, que consiste en el uso de dispositivos conectados a internet de forma complementaria al televisor, facilita la participación activa de los espectadores al permitirles acceder a información adicional, compartir comentarios en tiempo real e interactuar directamente con el contenido. No obstante, la implementación de la segunda pantalla en Cuba enfrenta desafíos particulares, como la limitada conectividad a Internet. Sin embargo, el desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en software libre y adaptadas a las condiciones del país podría superar estas barreras y acercar esta herramienta a la audiencia cubana. El presente trabajo tiene como objetivo expandir las funcionalidades del sistema TVC+ anteriormente desarrollado pero enfocándose en la integración con redes sociales. Esto permitirá a los usuarios interactuar en tiempo real, compartiendo comentarios, opiniones y experiencias durante la visualización de programas. Con ello, se busca incrementar la participación de la audiencia y enriquecer la experiencia televisiva en general.

Palabras claves: televisión digital interactiva, arquitectura de software, software libre.

1. Introducción

La omnipresencia de los dispositivos móviles ha transformado el consumo de medios, haciendo común el uso de una segunda pantalla como complemento a la televisión. Esta tendencia, especialmente popular entre las generaciones más jóvenes, ha crecido significativamente en los últimos años. En 2016, 46.7 millones de adultos en Estados Unidos utilizaban internet simultáneamente con la televisión, y se proyecta que esta cifra haya aumentado, destacando la combinación de smartphone y televisor como la más frecuente [9]. Entre las actividades más

comunes están el uso de redes sociales y la búsqueda de información relacionada con los programas [5].

La narrativa transmedia, una evolución de la narración tradicional, complementa esta dinámica al expandir las historias a través de múltiples plataformas, permitiendo a los usuarios interactuar activamente como prosumidores, es decir, tanto consumidores como creadores de contenido [7]. Este enfoque fomenta experiencias narrativas multidimensionales que integran redes sociales, videojuegos y otras tecnologías. En este ecosistema híbrido, la convergencia mediática conecta medios tradicionales, como la televisión, con plataformas digitales, dando lugar a la televisión social, donde la audiencia enriquece la experiencia televisiva a través de la interacción en redes sociales [8].

La televisión cubana enfrenta el reto de adaptarse a estas transformaciones mediáticas. Históricamente caracterizada por su enfoque temático y centralizado, ha logrado producciones de alta calidad, pero a costa de una limitada diversidad y conexión con los intereses de su audiencia. En un contexto donde el acceso a internet y dispositivos móviles crece, la segunda pantalla se presenta como una herramienta clave para fomentar la interacción social, enriquecer los contenidos y revitalizar la programación televisiva [6].

Este trabajo se centra en la ampliación de las funcionalidades de TVC+, un sistema desarrollado por la CUJAE para la gestión de medios y servicios de valor agregado como la guía electrónica de programación y servicios de datos [1]. Aunque TVC+ provee información útil, carece de herramientas para fomentar la interacción entre la audiencia y los contenidos televisivos mediante redes sociales. Por tanto, este estudio propone una expansión del sistema con nuevas funcionalidades que potencien la participación activa de los televidentes a través de la segunda pantalla.

La implementación de estas tecnologías, basadas en software libre y adaptadas a las condiciones locales, permitirá superar limitaciones tecnológicas y políticas públicas, contribuyendo a una experiencia televisiva más inclusiva, participativa y alineada con las demandas de los espectadores cubanos. Este enfoque combina la preservación de la identidad televisiva nacional con la innovación tecnológica, posicionando a la segunda pantalla como un puente entre la tradición y el futuro de la televisión en Cuba.

2. Antecedentes

En el panorama actual de la televisión digital terrestre (TDT) en Cuba, la búsqueda de soluciones innovadoras para optimizar la experiencia de los usuarios y ampliar el valor del servicio se ha convertido en un tema de gran relevancia. A continuación se analiza a TVC+ como antecedente de esta investigación, con el objetivo de comprender los beneficios que trae consigo los SVA en el desarrollo de dicho trabajo, cabe destacar que estos SVA están compuestos por: la guía electrónica de programación (GEP)[2] y el servicio de datos (SD) [12], que este último contiene noticias para informar a la población.

Entre las funcionalidades incorporadas en TVC+ se destacan [1]:

1. Funcionalidad de extracción y publicación de noticias desde fuentes primarias, como fuentes RSS. Esto permite obtener información actualizada de manera más eficiente y precisa.
2. Asignación de permisos para la gestión de subsecciones, lo que facilita el acceso a aquellos designados por las instituciones que son fuentes primarias de información. Esto garantiza una administración más segura y controlada de los contenidos.
3. Ampliación de los estados de las noticias, lo cual facilita la generación de reportes de calidad, el registro histórico y la contabilización del trabajo realizado. Esto permite evaluar y mejorar constantemente la calidad de los contenidos y el desempeño del equipo.

Con el TVC+, se busca optimizar la gestión de la GEP y el SD, brindando una herramienta más eficiente y mejorada para la administración de los servicios de la TDT. Esta solución ofrece diversas posibilidades de interactividad utilizando la red móvil como canal de retorno. Una de estas posibilidades es a través de la sección Info+ en el menú principal (ver Figura 1a), botón verde), donde se despliegan las subsecciones correspondientes a las diferentes televisoras activas. Al acceder a una de estas subsecciones, los usuarios pueden seleccionar el programa del cual desean ver contenido complementario (ver Figura 1b).

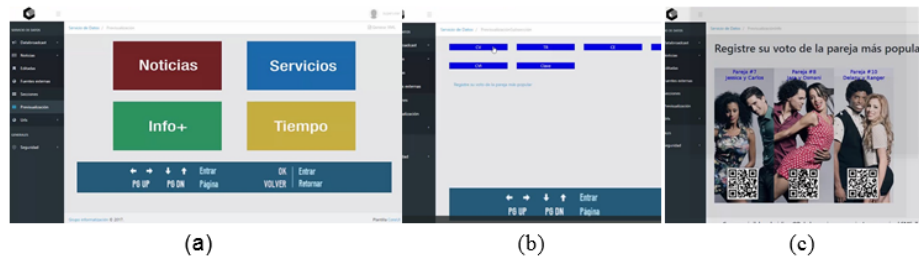


Figura 1: Previsualización de un ejemplo que muestra las posibilidades de interactividad local [11].

Esta funcionalidad brinda la oportunidad de incluir encuestas e información adicional, como recetas de cocina, biografías de los miembros del elenco, estadísticas de programas deportivos transmitidos y el estado de los equipos en competencia, entre otros ejemplos. En el siguiente ejemplo ilustrativo, se muestra cómo se puede enviar la preferencia del usuario a través de un SMS al leer el código QR que se muestra en pantalla (ver Figura 1c).

2.1. Tecnología utilizada

Considerando las conclusiones alcanzadas en la sección anterior acerca de los beneficios derivados de la integración de TVC+ en la solución de esta investigación, en esta sección se lleva a cabo un análisis de la arquitectura de

microservicios y se proporciona una descripción de las tecnologías que conforman el MEAN Stack. El objetivo es adquirir un mayor conocimiento sobre estas, ya que son las utilizadas en el desarrollo del sistema integrado con TVC+.

La arquitectura de microservicios es un enfoque de diseño y desarrollo de software que se basa en la construcción de aplicaciones como un conjunto de servicios pequeños, autónomos y altamente especializados. En comparación con la arquitectura monolítica, la cual es aquella en la que todos los componentes o módulos de un software están desarrollados y desplegados en una única aplicación; la arquitectura de microservicios divide la funcionalidad en servicios independientes que pueden ser desarrollados, desplegados y gestionados de forma separada, lo que provoca que sus componentes estén poco acoplados [10].

Una de las principales ventajas de esta arquitectura es la flexibilidad y la escalabilidad que ofrece. Al dividir la aplicación en servicios más pequeños, es posible desarrollar y desplegar cada uno de ellos de forma independiente, lo que facilita la implementación continua y la adopción de metodologías ágiles. Además, la escalabilidad se vuelve más granular, ya que solo se requiere aumentar los recursos de los microservicios específicos que están experimentando una mayor demanda [3].

En adición, cabe destacar también otro de los grandes beneficios que ofrece esta arquitectura, la capacidad de utilizar diferentes tecnologías y lenguajes de programación para cada servicio, lo que permite elegir la mejor herramienta para cada tarea. Esto brinda a los equipos de desarrollo una mayor libertad y flexibilidad a la hora de seleccionar las tecnologías más adecuadas para cada componente del sistema [4].

3. Solución propuesta

A continuación, se detallan los requisitos funcionales y no funcionales recopilados a través de la captura de requisitos de la funcionalidad escogida a desarrollar como solución a la problemática abordada en esta investigación.

Los requisitos funcionales del sistema son:

- RF01 Conexión en tiempo real. El componente debe permitir que los usuarios se conecten en tiempo real y puedan enviar y recibir mensajes de manera instantánea.
- RF02 Interfaz de chat clara. Debe contar con una interfaz de chat sencilla y intuitiva, que permita a los usuarios enviar y visualizar los mensajes de manera clara y organizada.
- RF03 Historial de mensajes. Debe mantener un historial de los mensajes enviados en el chat, de manera que los usuarios puedan consultar y leer mensajes anteriores a su conexión.
- RF04 Sincronización de mensajes. Cuando el usuario sufra una desconexión y vuelva a conectarse, el componente deberá sincronizar automáticamente los mensajes almacenados durante la desconexión, de manera que el usuario pueda visualizarlos.

- RF05 Asignación del chat en tiempo real. El administrador del sistema debe ser capaz de añadir la opción de tener un chat en tiempo real a cualquier espacio televisivo.

Mientras que los requisitos no funcionales del sistema son:

- RNF01 Rendimiento y escalabilidad. El sistema debe ser capaz de manejar un alto volumen de usuarios y mensajes en tiempo real sin afectar el rendimiento. Debe poder escalar horizontalmente para soportar un crecimiento significativo en el número de usuarios.
- RNF02 Disponibilidad y confiabilidad. El sistema debe estar disponible y operativo durante todo el tiempo que dure el espacio televisivo al que se asigne.
- RNF03 Usabilidad y accesibilidad. La interfaz de usuario del chat debe ser intuitiva, fácil de usar y accesible para una amplia gama de usuarios. Debe ser compatible con diferentes dispositivos y navegadores web.
- RNF04 Mantenibilidad y extensibilidad. El código del sistema debe ser modular, bien documentado y fácil de mantener y actualizar.

El backend de la solución del chat en tiempo real desempeña un papel fundamental en la arquitectura de la aplicación. Este módulo es responsable de establecer y gestionar la comunicación entre el servidor y los clientes, utilizando el popular framework Express.js y la biblioteca Socket.IO para la implementación del protocolo WebSocket.

Una de las principales funcionalidades de este es la configuración y el establecimiento de la conexión con la base de datos MongoDB. Esto permite que la aplicación pueda persistir y recuperar los mensajes enviados por los usuarios, garantizando la consistencia y disponibilidad de los datos.

Además, en este módulo se implementa la lógica de la comunicación en tiempo real utilizando Socket.IO. Cuando un usuario se conecta al servidor, se registra un evento de conexión que permite monitorizar y gestionar los estados de conexión de los clientes. Cuando un usuario envía un mensaje, el servidor recibe el evento correspondiente y guarda el mensaje en la base de datos. Posteriormente, el mensaje se emite a todos los clientes conectados, lo que permite la actualización en tiempo real de la interfaz de usuario.

Una característica destacada de este archivo es la implementación del mecanismo de recuperación del estado de la conexión. Cuando un cliente se reconecta después de una desconexión, el servidor verifica si la conexión es una recuperación y, en tal caso, envía los mensajes más recientes al cliente, garantizando una experiencia fluida y sin pérdida de datos.

Otra funcionalidad importante es la configuración del middleware de *CORS* (*Cross-Origin Resource Sharing*), que permite controlar y restringir el acceso a los recursos del servidor desde diferentes orígenes. Esto ayuda a mantener la seguridad de la aplicación y prevenir ataques de tipo *CSRF* (*Cross-Site Request Forgery*).

3.1. Comunicación con la base de datos

El archivo backend que se comunica con la base de datos desempeña un papel fundamental en la gestión y el almacenamiento de los datos del sistema de chat en tiempo real. En este caso, la implementación utiliza Mongoose, un popular *ODM (Object Document Mapping)* o en español "Mapeo de Objetos a Documentos" para Node.js, que facilita la interacción con una base de datos MongoDB.

Las principales funcionalidades que este cumple son:

- Establecer la conexión con la base de datos: El archivo se encarga de establecer y mantener la conexión con el servidor MongoDB utilizando la información de la cadena de conexión almacenada en las variables de entorno.
- Definir los esquemas de datos: Aquí se definen los esquemas de datos que representan la estructura de los documentos que se almacenarán en la base de datos. Estos esquemas pueden incluir validaciones, tipos de datos y metadatos asociados a los campos.
- Crear modelos de datos: A partir de los esquemas definidos, se crean modelos de datos que encapsulan la lógica de interacción con la base de datos. Estos modelos proporcionan una interfaz de programación sencilla y familiar para trabajar con los datos.
- Implementar operaciones CRUD: El archivo contiene funciones que permiten realizar operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar) en la base de datos a través de los modelos de datos. Esto facilita la persistencia y recuperación de información.
- Gestionar la lógica de consultas: Además de las operaciones básicas, el archivo contiene funciones que implementen consultas más complejas, como búsquedas, filtros, ordenamiento, entre otros.
- Proporcionar una capa de abstracción: Al encapsular toda la lógica de interacción con la base de datos en este archivo, se crea una capa de abstracción que aísla al resto del backend de la complejidad subyacente. Esto mejora la modularidad y la mantenibilidad del sistema.

3.2. Servicio que implementa el chat para la comunicación con el backend

El servicio de comunicación con el backend, desempeña un papel fundamental en la aplicación del chat en tiempo real. Este servicio se encarga de establecer y gestionar la conexión WebSocket entre el cliente y el servidor, permitiendo la transmisión bidireccional de eventos y datos en tiempo real.

La implementación del servicio se basa en la utilización del cliente Socket.IO, una biblioteca ampliamente utilizada para la comunicación en tiempo real en aplicaciones web. Dicho cliente se encarga de abstraer la complejidad de la comunicación WebSocket, proporcionando una API sencilla y robusta para interactuar con el servidor.

Las principales funcionalidades del servicio incluyen:

- **Conexión y desconexión:** El servicio proporciona métodos `connect()` y `disconnect()` que permiten a los componentes de la aplicación iniciar y finalizar la comunicación con el backend. Estos métodos establecen y cierran la conexión WebSocket utilizando el cliente `Socket.IO`.
- **Envío de eventos:** A través del método `emit()`, el servicio permite a los componentes enviar eventos personalizados al servidor. Estos eventos pueden contener datos relevantes para la actualización en tiempo real, como nuevos mensajes de chat, actualizaciones de estado de usuarios, entre otros.
- **Recepción de eventos:** El servicio permite a los componentes registrar callbacks utilizando el método `on()`. Estos callbacks se ejecutarán cuando el servidor envíe eventos específicos, permitiendo a los componentes actualizar la interfaz de usuario en respuesta a los cambios en tiempo real.
- **Sincronización de tiempo:** Para garantizar la coherencia de los datos en tiempo real, el servicio mantiene un desfase del tiempo del servidor utilizando el método `updateServerOffset()`. Esta información de desfase se utiliza para sincronizar las marcas de tiempo entre el cliente y el servidor, evitando discrepancias en la visualización de los eventos.

Al encapsular la lógica de comunicación en tiempo real en este servicio, los componentes de la aplicación pueden interactuar fácilmente con el backend sin preocuparse por los detalles de bajo nivel de la comunicación WebSocket. Esto facilita la integración y mantiene la modularidad de la aplicación, mejorando la mantenibilidad y escalabilidad del sistema de chat en tiempo real.

3.3. Asignación del chat en tiempo real a los espacios televisivos

El usuario administrador es el encargado de esta parte del sistema, este al acceder al módulo de segunda pantalla, lo primero que se le presenta es una parrilla que muestra la programación televisiva de cada canal del servicio GEP de TVC+, como se muestra en la Figura 2

Tal y como ya se había implementado previamente para otras funcionalidades que ofrece el sistema, como *Agregar votación*, *Agregar noticias*, entre otros; para poder agregar contenido para la segunda pantalla el usuario administrador tiene que seleccionar un espacio televisivo al que quiera añadirle dicha prestación. Una vez seleccionado dicho espacio, este pasará a la vista de *Asignar contenido interactivo a espacio*, la cual está compuesta por las opciones de asignar noticias al espacio y agregar contenido adicional al espacio.

Una vez seleccionada la opción de *Agregar contenido adicional al espacio* se presentarán las opciones para agregar imagen, vídeos, enlaces, votaciones y finalmente, la opción para agregar dicho chat en tiempo real.

Al seleccionar la opción *Agregar chat*, se desplegará un formulario que el usuario administrador deberá completar con diversas configuraciones para dicho chat. Entre estas opciones, se encontrarán los horarios de disponibilidad, los cuales vendrán preestablecidos por defecto; específicamente, de forma predeterminada el chat se habilitará a partir de la hora de inicio de la transmisión y se cerrará cuando esta acabe.



Figura 2: Parrilla con la programación de un canal

Una vez completado dicho formulario y elegida la opción de aceptar, pues ya se estaría agregando dicho chat al espacio televisivo seleccionado.

Luego de haber esto, se podrá ver en la pestaña del chat el identificador con el cual se creó dicho contenido, así como su disponibilidad, o sea, el intervalo de fechas en el cual dicho chat estará abierto y por último el estado del mismo, si ya está comenzado o no.

En adición, esta pestaña del chat brinda la opción de modificar el tiempo de disponibilidad del mismo siempre que su estado sea *No comenzada*, así como dar la opción de eliminarlo siempre que se desee.

3.4. Interacción del cliente con dicho chat

Desde la perspectiva del cliente, una vez que este haya accedido a la segunda pantalla también se encontrará con una parrilla donde se le mostrará la programación aprobada de cada canal televisivo, tal y como sucedía con la perspectiva del usuario administrador.

Dicho televidente tendrá la posibilidad de acceder a cualquier programa televisivo que se encuentre disponible, pudiendo así explorar las distintas opciones de contenido complementario para la segunda pantalla que hayan sido habilitadas previamente por un administrador para el espacio televisivo seleccionado.

Una vez que el usuario acceda a un programa que cuente con la funcionalidad de chat en tiempo real, podrá seleccionar la pestaña correspondiente para entablar interacción con el mismo. No obstante, si los horarios establecidos en la configuración de dicha funcionalidad no incluyen el momento en que el usuario desee participar, el chat no se mostrará cuando se despliegue la tarjeta correspondiente.

Como alternativa, puede darse el caso de que el chat se encuentre disponible, pero el usuario aún no haya completado el proceso de autenticación. En tal

escenario, si bien podrá visualizar los comentarios publicados en el mismo, no tendrá la capacidad de interactuar escribiendo en dicho chat.

Por último, una vez que el usuario complete el proceso de autenticación, se le habilitará la funcionalidad que le permitirá hacer uso del chat, pudiendo así interactuar en el mismo a través del envío de mensajes.

4. Resultados y discusión

Para la validación de la solución desarrollada se realizan pruebas de caja negra, las cuales permiten evaluar la funcionalidad implementada enfocándose exclusivamente en la interacción entre las entradas y salidas. En este caso se diseñaron dos casos de pruebas: Asignar chat en tiempo real al espacio y Interacción con el chat en tiempo real. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

4.1. Asignar chat en tiempo real al espacio

Este caso de prueba permite al administrador del sistema asignar un chat a un espacio televisivo en específico y configurar el tiempo en que el chat estará disponible para los usuarios. El primer paso consiste en verificar que se cumplan las siguientes condiciones:

1. Conexión disponible con el servicio de segunda pantalla y el proveedor de seguridad.
2. Conexión disponible del servicio de segunda pantalla con su base de datos .
3. Todos los parámetros de la cabecera y el cuerpo de la petición HTTP son correctos.

En la figura 3 se pueden observar los resultados satisfactorios obtenidos al ejecutar este caso de prueba.

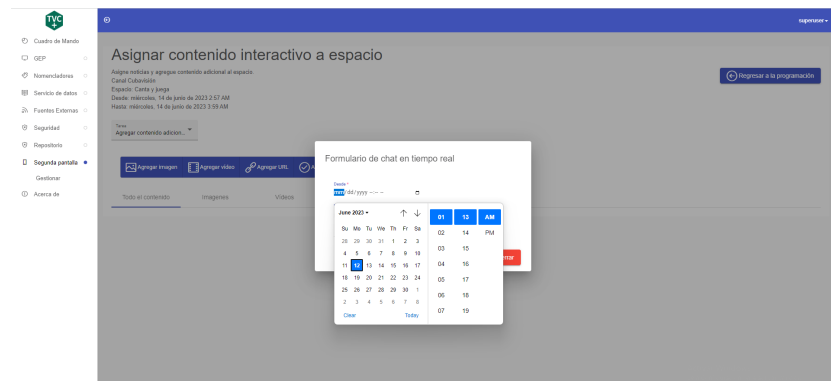


Figura 3: Asignar chat en tiempo real al espacio

4.2. Interacción con el chat en tiempo real

Este caso de prueba permite comprobar que se procesen y se muestren de forma correcta todos los mensajes que se hayan escrito en el chat desde que este estuvo disponible para su uso y que el propio usuario pueda escribir e interactuar con dicho componente. Para que esto sea posible deben cumplirse las siguientes condiciones:

1. Conexión disponible con el servicio de segunda pantalla y de interacción.
2. Conexión disponible de ambos servicios con sus respectivas bases de datos.
3. Usuario autenticado.
4. Opción de chat en tiempo real activa.
5. Todos los parámetros de la cabecera y el cuerpo de la petición HTTP son correctos.

En la figura 4 se pueden observar los resultados satisfactorios obtenidos al ejecutar este caso de prueba.

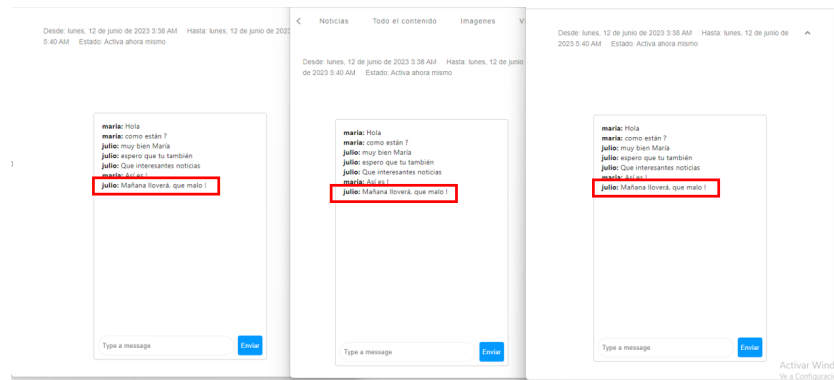


Figura 4: Asignar chat en tiempo real al espacio

Las pruebas efectuadas sobre los casos de uso demostraron el correcto desempeño de la funcionalidad agregada al sistema TVC+, corroborando así el cumplimiento de los requerimientos funcionales previamente estipulados.

5. Conclusiones

La televisión tradicional ha evolucionado hacia un entorno más interactivo y enriquecedor gracias a la incorporación de segundas pantallas, como smartphones y tabletas, que ofrecen una amplia gama de funcionalidades para mejorar la experiencia del usuario. En el caso de la televisión digital terrestre (TDT) en Cuba, los Servicios de Valor Agregado (SVA) como TVC+ representan una herramienta prometedora para optimizar la experiencia de los usuarios, ofreciendo

funcionalidades adicionales como acceso a contenidos bajo demanda y personalización, lo que contribuye a una mayor satisfacción y fidelización de la audiencia. La arquitectura de microservicios y el MEAN Stack son tecnologías adecuadas para el desarrollo de aplicaciones web modernas como TVC+, brindando flexibilidad, escalabilidad y la posibilidad de utilizar diferentes tecnologías y lenguajes de programación. El análisis de aplicaciones de segunda pantalla existentes en el mercado, como TV Time, Sync e IntoNow, ha permitido identificar oportunidades para enriquecer la experiencia de los usuarios y ofrecer nuevas funcionalidades en el software TVC+. El chat en tiempo real es crucial para la interacción y el compromiso de la audiencia en las plataformas de transmisión en vivo y segunda pantalla, fortaleciendo el vínculo entre la audiencia y la transmisión, y creando una experiencia más dinámica.

6. Agradecimientos

Esta investigación ha sido apoyada por el Fondo Fiduciario Pérez-Guerrero para la Cooperación Sur-Sur (PGTF) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP) proyecto INT/24/K12 y el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA) proyecto NPN223LH006-005 de TVDi.

Referencias

1. Abásolo Guerrero, M.J., Pina Amargós, J.: Libro de aplicaciones y usabilidad de la televisión digital interactiva (2017)
2. Casas Sancesario, C.M.: Conjunto de servicios web para la gestión de la Programación de la Televisión Digital Terrestre en Cuba. B.S. thesis, CUJAE (2017)
3. Dragoni, N., Dustdar, S., Georgantas, N. (eds.): Microservices: Science and Engineering. Springer (2017)
4. Fowler, M.: Microservices: Decomposing applications for deployability and scalability (2014)
5. Gómez, M.F.: El uso de la segunda pantalla en el consumo de televisión en México: Un análisis de las actividades y motivaciones de los usuarios. Master's thesis, Universidad Nacional Autónoma de México (2022)
6. Hernández Alfonso, E.A., Paz Enrique, L.E., Jara Solenar, D.: Retos de la participación comunitaria en la producción televisiva local. *Revista Universidad y Sociedad* **8**(2), 147–152 (2016)
7. Jenkins, H.: *Convergence culture: Where old and new media collide*. NYU Press (2006)
8. Lotz, A.D.: *The television will be revolutionized*. NYU Press (2014)
9. Nelson, L.D., Webster, J.: *The multitasking of mobile device use: Attention, distraction, and media choice* (2017)
10. Newman, S.: *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. O'Reilly Media (2015)
11. Pina Amargós, J.D., Álvarez Goenaga, D., Villarroel Ramos, D.L., Amador González, M., Socorro Llanes, R., Delgado Font, W.E.: Nuevas funcionalidades de la televisión digital terrestre en cuba para contribuir a la informatización de la sociedad. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas* **12**(1), 158–172 (2018)

12. Villarroel Ramos, D.L.: Módulo para la gestión del Servicio de Datos de la televisión digital en Cuba. B.S. thesis, CUJAE (2017)

Combater o Isolamento Social Com a Ajuda da Televisão: Utopia ou Realidade?

Gabriel Faria^[0000-0002-6085-4716], Telmo Silva^[0000-0001-9383-7659] e Jorge Ferraz de Abreu^[0000-0002-0492-2307]

DigiMedia, Departamento de Comunicação e Arte, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal
{g.martinsfaria, tsilva, jfa}@ua.pt

Resumo. Os desenvolvimentos tecnológicos têm resultado na melhoria da qualidade de vida no mundo ocidental e contribuído para o envelhecimento generalizado da população. Torna-se, portanto, cada vez mais pertinente e desafiante idealizar estratégias de apoio à pessoa idosa. Dado que as interações sociais são essenciais para a qualidade de vida dos seniores e que, em Portugal, a televisão é amplamente utilizada por este público, conceitualizou-se o ProSeniorTV. Este sistema proativo gamificado e integrado na televisão notifica, motiva e gratifica os utilizadores pela participação em eventos sociais locais. Um protótipo do sistema foi testado em contexto real durante trinta dias com a colaboração de vinte participantes seniores, tendo em vista a avaliação da sua eficácia em motivar os mais velhos a participarem em eventos sociais. O teste realizado demonstrou que, efetivamente, uma utilização quotidiana do sistema contribuiu para o incremento da motivação dos mais velhos para participar em eventos sociais e também para os ajudar a reduzir os seus níveis de solidão e isolamento. Deste modo, o sistema proposto aparentou ser uma poderosa ferramenta para a promoção de novos hábitos a nível social e para o fomento de processos de envelhecimento mais ativos e saudáveis.

Palavras-Chave: Bem-estar, Envelhecimento Ativo, Gamificação, Interações Sociais, Interatividade, População Sénior, Proatividade, Televisão.

1 Introdução

O envelhecimento populacional resulta do aumento da esperança média de vida e da redução das taxas de natalidade, uma tendência especialmente notória em países desenvolvidos, onde melhores condições de vida e cuidados de saúde propiciam uma vida mais longa. Em Portugal, o número de idosos tem aumentado, e, em 2023, “o índice de envelhecimento (...) atingiu o valor de 188,1 idosos por cada 100 jovens”, comparado a 184,4 em 2022 (INE, 2024, p. 1). O envelhecimento acarreta mudanças físicas, sociais e psicológicas, como o declínio gradual da visão, audição, mobilidade e capacidades cognitivas, incluindo memória e atenção (Woodhead & Yochim, 2022). Socialmente, estes autores referem ainda uma redução nas interações e redes de apoio, o que afeta o bem-estar emocional dos idosos. Para mitigar esses efeitos e promover a qualidade de vida, é fundamental apoiar o desenvolvimento de redes sociais fortes junto dos mais

velhos, compostas por familiares e amigos, o que contribui para a saúde física e mental e ajuda a prevenir o isolamento social (Mendes, 2022; OMS, 2015). A par da importância das interações sociais, a TV continua a ser central na vida dos seniores, sendo a sua principal fonte de informação e entretenimento. Em Portugal, 68% das pessoas com 65 anos ou mais ainda preferem a TV para aceder a conteúdo noticioso, tratando-se da faixa etária com maior grau de utilização da TV neste sentido (Cardoso et al., 2024). Segundo a OberCom (2021), os seniores representam também cerca de 30% das audiências de TV em Portugal, com uma média de utilização diária de cinco horas. Importa destacar que a TV possui ainda o poder de fomentar interações sociais, servindo de base para conversas e encontros que ajudam a combater o isolamento (Abreu, 2007). Concomitantemente, o uso das tecnologias da informação e comunicação (TIC) pelos seniores tem aumentado. Embora tradicionalmente afastados das tecnologias, os mais velhos têm vindo a adotar ferramentas digitais gradualmente, facilitando o contacto social e o acesso a serviços. Em Portugal, a percentagem de idosos entre os 65 e os 74 anos que utiliza a Internet atingiu os 53,2% em 2023, um valor que correspondia a 32,7% no ano de 2018, demonstrando avanços na literacia digital e inclusão social desta faixa etária (Vasconcelos et al., 2024). Com este público cada vez mais autónomo digitalmente, é relevante desenvolverem-se soluções que promovam o seu bem-estar.

2 Sistema Proposto: ProSeniorTV

O sistema ProSeniorTV, de Faria et al. (2024) é uma solução proativa que visa promover o envolvimento dos seniores em atividades sociais através de notificações na TV, oferecendo uma interface acessível que utiliza o controlo remoto como meio de interação. O sistema prevê os seguintes cenários de utilização:

- **Sugestão de minijogos de estímulo cognitivo:** durante a programação, o utilizador recebe uma notificação para testar as suas habilidades cognitivas. Ao selecionar "OK" no controlo remoto, é exibida a interface do sistema, permitindo o acesso a minijogos de estímulo cognitivo. Ao jogar, o utilizador acumula pontos que determinam a sua posição num *ranking*. Após o jogo, o utilizador pode escolher jogar novamente, experimentar outros minijogos, ver o *ranking* ou voltar à programação normal;
- **Notificação sobre atividades sociais e códigos de participação:** o sistema avisa o utilizador sobre eventos sociais locais, incentivando-o a participar de modo a fortalecer os seus laços sociais. Após comparecer, o utilizador recebe, presencialmente, um código que pode inserir na interface do ProSeniorTV para ganhar pontos e melhorar a sua posição no *ranking*. O sistema também envia lembretes para que o utilizador não se esqueça de inserir na interface do sistema os códigos que recebeu.

A figura seguinte representa o fluxo de interação idealizado para o sistema e na qual se podem observar os passos que compõem os cenários de utilização mencionados.

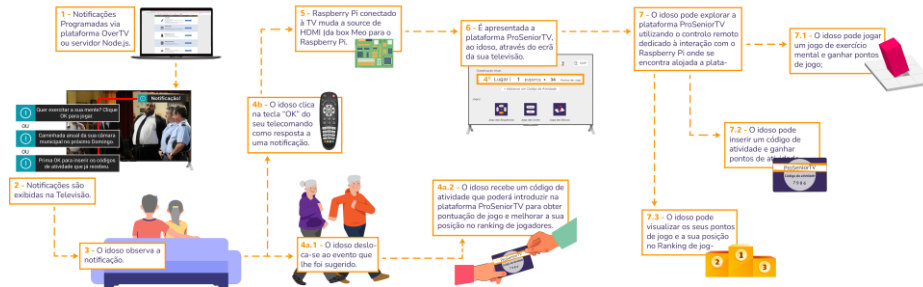


Fig. 1. Fluxo de interação com o sistema ProSeniorTV.

3 Metodologia de Avaliação do Protótipo do Sistema

A metodologia utilizada para avaliar o protótipo do sistema ProSeniorTV foi estruturada em várias etapas, cada uma com um propósito específico para garantir uma avaliação eficaz da interface e das funcionalidades do sistema. As etapas da metodologia, adotadas de modo sequencial, e representadas na figura seguinte foram:

1. **Pré-teste em laboratório:** etapa de avaliação preliminar do protótipo junto de profissionais experientes na área de *user experience* (UX);
2. **Teste piloto:** etapa preliminar de identificação e correção de problemas técnicos e de usabilidade em contexto real e com a colaboração de um utilizador real;
3. **Entrevista de caracterização inicial:** entrevista semiestruturada para caracterização sociodemográfica e dos hábitos da amostra de participantes;
4. **Teste de campo:** etapa com a duração de trinta dias e levada a cabo com a colaboração de vinte seniores com o objetivo de avaliar o sistema proposto;
5. **Entrevista final:** entrevista semiestruturada para aferição de possíveis mudanças que tenham decorrido da utilização quotidiana do sistema ProSeniorTV (ex. mudanças nos níveis de solidão e isolamento dos participantes).



Fig. 2. Fases da Metodologia de Avaliação do Protótipo do Sistema ProSeniorTV.

4 Amostra de Participantes

A amostra de participantes no teste de campo incluiu 20 pessoas, com idades entre os 57 e os 87 anos (média e mediana de 71 anos), sendo 70% do sexo feminino. Em relação ao nível de escolaridade, 40% tinham o ensino primário, 30% o ensino básico, 20% o ensino secundário e 10% possuíam formação universitária. Os participantes residiam em cinco municípios diferentes e a maioria (70%) pertencia a agregados familiares compostos por duas a três pessoas, enquanto 20% viviam sozinhos. A ocupação

predominante era de reformado (75%). Todos os participantes possuíam telemóvel e TV, com 35% a usar o computador e 30% a usar o tablet. A maioria utilizava as tecnologias para comunicação com amigos e/ou familiares (80%), para aceder a atividades de lazer e/ou notícias (70%). Quanto à TV, todos a usavam diariamente e 90% utilizavam-na por mais de 2 horas. Em termos de interação social, 90% mantinham um contacto diário com amigos ou familiares e consideravam os eventos sociais importantes, mas apenas 25% participavam regularmente neste tipo de eventos. Relativamente aos jogos de estímulo cognitivo, 60% possuíam experiência prévia neste sentido, sendo que destes, a maioria preferia aceder a este tipo de jogos através de versões em papel (75%). A maioria dos participantes (75%) consideravam estes jogos "*Muito Relevantes*" ou "*Relevantes*" para a saúde mental.

5 Apresentação e Análise de Resultados

Durante os 30 dias de teste, cada um dos 20 participantes recebeu 4 sugestões de eventos sociais locais através da interface do ProSeniorTV. As notificações foram configuradas para aparecer durante o *zapping*, por forma a assegurar que as mesmas seriam visualizadas. Em geral, a taxa média de participação nos eventos sugeridos foi de 35%, o que representa uma melhoria significativa, especialmente considerando que, antes do teste, 40% dos participantes admitiram nunca participar nos eventos sociais da sua comunidade. A adesão aos eventos variou: 4 participantes não compareceram a nenhum evento, 8 foram a um, 5 participaram em dois eventos, 2 em três, e apenas 1 participou em todos os eventos sugeridos. Os participantes menos ativos (60%) referiram problemas como mobilidade reduzida, agendas ocupadas, dependência de terceiros e compromissos profissionais como as principais barreiras no acesso aos eventos. Quanto aos fatores que influenciaram a participação, verificou-se que os eventos religiosos tiveram uma adesão mais alta, tendo-se verificado uma correlação estatística com um valor de significância correspondente a 0,04. A interação com os minijogos de estímulo cognitivo foi relevante no estudo, com 65% dos participantes a atingirem uma pontuação satisfatória (80 pontos ou mais). Aqueles que não alcançaram essa meta mencionaram falta de tempo (57%), dificuldades de utilização (43%) e, em alguns casos, consideraram os jogos mais difíceis ou menos interessantes que os que jogam habitualmente. Um participante destacou preferir jogar em dispositivos *touch*, como tablets, em vez da TV.

5.1 Alterações nos Hábitos dos Participantes

Após o teste, houve mudanças significativas nos hábitos e perceções dos participantes, tanto no uso de jogos de estímulo cognitivos, quanto na participação em eventos sociais locais. Inicialmente, 40% dos participantes nunca haviam usado jogos de estímulo cognitivo, mas, após o teste, 90% passaram a usá-los regularmente (no mínimo uma a duas vezes por semana). A perceção da importância desses jogos também melhorou: antes do teste, 25% consideravam-nos "*Pouco Relevantes*" ou "*Neutros*", enquanto após o teste, 85% os avaliaram como "*Muito Relevantes*" e os restantes 15% como "*Relevantes*". A análise confirmou uma correlação significativa, indicando que o uso do

ProSeniorTV aumentou tanto a frequência quanto a valorização desses jogos. Inicialmente, 90% dos participantes já mantinham contacto regular com amigos e familiares, mas a frequência de participação em eventos locais aumentou após o teste. Antes, 40% não frequentavam eventos e, de entre os restantes 60%, a maioria participava apenas ocasionalmente. Após o teste, apenas 10% continuaram sem participar em eventos sociais, enquanto 65% passaram a participar semanal ou mensalmente. A mudança foi estatisticamente significativa, indicando que o sistema incentivou um maior envolvimento social. O acesso à informação sobre eventos locais também melhorou: antes do teste, apenas 40% consideravam fácil obter essas informações; no final do teste, 95% relataram facilidade neste sentido, principalmente graças ao sistema proposto. Embora essa melhoria não tenha sido estatisticamente significativa, o sistema acabou por facilitar o acesso dos participantes a atividades na comunidade onde residiam. No final do teste, todos os participantes passaram a ver os eventos locais como algo importante para a manutenção dos laços sociais, uma percepção que anteriormente era apenas partilhada por 90% deles.

5.2 Alterações nos Níveis de Solidão e Isolamento

Observou-se uma redução significativa nos níveis de solidão e risco de isolamento social dos participantes, segundo a Escala de Solidão UCLA (Russell, 1996) e a Escala de Redes Sociais de Lubben (Ribeiro et al., 2012). Inicialmente, 60% dos participantes apresentavam níveis médios de solidão e 40% níveis baixos. Após o teste, 50% dos que, inicialmente, apresentavam níveis médios de solidão passaram a níveis baixos, com 85% dos participantes a demonstrarem uma redução nos níveis de solidão. Dos restantes participantes, dois mantiveram níveis baixos desde o início e apenas um registou um leve aumento. Antes do teste, 10% dos participantes estavam em risco de isolamento social, mas nenhum permaneceu nessa condição após o estudo. A maioria (80%) experienciou uma diminuição no risco de isolamento, enquanto dois participantes mantiveram estes valores em 0% desde o início e outros dois apresentaram um leve aumento, contudo, abaixo do limiar em que se verifica a existência de risco de isolamento. Os testes de correlação indicaram uma redução estatisticamente significativa nos níveis de solidão e risco de isolamento entre o início e o final do teste (sig. = 0,001), o que permite afirmar, com 99% de certeza, que uma utilização quotidiana do ProSeniorTV contribuiu substancialmente para essa melhoria.

5.3 Usabilidade e Experiência de Utilização do Sistema

Nas entrevistas finais, avaliou-se a usabilidade e *user experience* (UX) do ProSeniorTV, utilizando uma metodologia que combinou as escalas SAM, AttrakDiff e SUS. Essa abordagem possibilitou uma análise ampla das qualidades instrumentais, não instrumentais e das respostas emocionais geradas pela interação com o sistema, cujos resultados estão apresentados na tabela 1. Na **escala SUS**, o ProSeniorTV obteve uma média de 79%, equivalente a "A-" em usabilidade, indicando que foi considerado intuitivo e fácil de usar. A facilidade de aprendizagem foi destacada, com a maioria dos participantes a acreditar que outras pessoas aprenderiam rapidamente a utilizá-lo. O

sistema foi considerado como bem integrado, obtendo uma média de 3,45 na questão acerca da integração de funcionalidades, mas alguns utilizadores sugeriram melhorias na coesão entre elas. Na avaliação pela **escala SAM**, o ProSeniorTV gerou respostas emocionais positivas: obteve uma média de 85% em termos de satisfação, indicando uma experiência agradável. Os participantes relataram altos níveis de motivação (78%) e controlo (76%), apontando para uma experiência estimulante e uma sensação positiva de domínio durante a interação, sem sobrecarga emocional. Na **escala AttrakDiff**, o ProSeniorTV recebeu avaliações positivas nas dimensões pragmática (PQ = 73%), de estímulo (HQ-S = 75%) e identificação (HQ-I = 73%), o que indica que o sistema proposto foi percebido como sendo eficiente, intuitivo e envolvente. A alta pontuação em termos de atratividade (80%) sugere que o design visual foi bem recebido e adequado ao público sénior. Embora 70% dos participantes não tenham relatado dificuldades na interação, 30% enfrentaram alguns desafios, especialmente aqueles com menor familiaridade com as tecnologias e a Internet, verificando-se uma correlação significativa neste sentido. No entanto, essas dificuldades não afetaram o uso geral do sistema, já que não houve correlação significativa com a frequência de utilização ou participação nas atividades sociais sugeridas. Os minijogos foram bem recebidos, com 95% dos participantes a preferirem o "jogo dos blocos." A presença de elementos 3D nos minijogos mostrou-se positiva para a experiência do utilizador, confirmada com 99% de confiança pela correlação entre preferência de jogo e presença de elementos tridimensionais.

Tabela 1. Pontuações globais relativas à usabilidade e UX do ProSeniorTV - triangulação das escalas SUS, SAM e AttrakDiff.

Valores em percentagem	Qualidades Instrumentais		Qualidades não-instrumentais		Impacto Emocional				
	SUS (0 a 100)	AttrakDiff (-3 a 3)			SAM (1 a 5)			AttrakDiff (-3 a 3)	
		PQ	HQ-S	HQ-I	Sat.	Mot.	Cont.	ATT	
		79	1,36	1,52	1,36	4,4	4,1	4,05	1,79
		79%	73%	75%	73%	85%	78%	76%	80%
	Dimensões de UX		Estimulação	Identificação	Emoção			Estética	

6 Síntese Final

O ProSeniorTV teve um impacto positivo na qualidade de vida dos utilizadores seniores, promovendo o estímulo cognitivo e a interação social. Durante o teste, observou-se uma redução nos níveis de solidão e risco de isolamento, com vários participantes a sentirem-se mais integrados na comunidade. A interface intuitiva e o acesso facilitado a eventos locais aumentaram, em muitos casos, a participação em atividades sociais, promovendo uma maior integração social. Os minijogos de estimulação cognitiva do ProSeniorTV foram bem aceites e tornaram-se parte da rotina semanal de muitos participantes. Estes ajudaram os participantes a valorizar as atividades cognitivas e incentivaram um uso contínuo da interface. A estratégia de Gamificação adotada, com pontuação de jogo e *ranking* de utilizadores, gerou interesse e criou um ambiente saudável e motivador de interação entre os participantes. O ProSeniorTV foi considerado intuitivo e agradável, embora exista espaço para melhorias. As entrevistas finais evidenciaram

uma experiência positiva por parte dos participantes, com o sistema a ser percecionado como um facilitador eficaz para reduzir o isolamento social, para promover o convívio e para melhorar bem-estar mental. Assim, o sistema demonstrou-se promissor no apoio a um envelhecimento mais ativo e saudável.

Agradecimentos. Esta investigação é financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através de uma bolsa de investigação de doutoramento com a referência 2021.08467.BD e foi desenvolvida em parceria com a ALTICE LABS.

Referências

- Abreu, J. T. F. (2007). *Design de Serviços e Interfaces num Contexto de Televisão Interactiva*. <http://hdl.handle.net/10773/1259>
- Cardoso, G., Paisana, M., & Pinto-Martinho, A. (2024). *Digital News Report 2024 OBERCOM*. https://obercom.pt/wp-content/uploads/2024/06/DNRP-2024_-15.06.2024.pdfhttps://obercom.pt/wp-content/uploads/2024/06/DNRP-2024_-15.06.2024.pdf
- Faria, G., Silva, T., & Abreu, J. (2024). *Encouraging Seniors to Get Active: Implementing a Gamification Strategy on Television*. 85–100. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70439-0_6
- INE. (2024). *ESTIMATIVAS DE POPULAÇÃO RESIDENTE EM PORTUGAL 2023*. 1–11. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=645507713&DESTAQUESmodo=2
- Mendes, D. (2022). *Isolamento Social e Redes de Suporte Social em Idosos a Residir na Comunidade*.
- OberCom Observatório da Comunicação. (2021). *Anuário da comunicação — 2020*. 167.
- OMS. (2015). ACTIVE AGEING: A POLICY FRAMEWORK. . . *Noncommunicable Diseases and Mental Health Cluster, Noncommunicable Diseases Prevention and Health Promotion Department. Ceneva*. <http://www.who.int/hpr/>
- Ribeiro, O., Teixeira, L. S., Duarte, N., Azevedo, M. J. T., Araújo, L., Barbosa, S., & Paúl, C. (2012). *Versão Portuguesa da Escala Breve de Redes Sociais de Lubben (LSNS-6)*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:143116827>
- Russell, D. W. (1996). UCLA Loneliness Scale (Version 3): reliability, validity, and factor structure. *Journal of Personality Assessment*, 66 1, 20–40. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:7847482>
- Vasconcelos, A., Paisana, M., Couraceiro, P., Casquinho, M., Cardoso, G., & Baldi, V. (2024). *Anuário da Comunicação2023*. www.obercom.pt
- Woodhead, E. L., & Yochim, B. (2022). Adult development and aging: A foundational geropsychology knowledge competency. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 29(1), 16–27. <https://doi.org/10.1037/cps0000048>

Older adults and Alexa: breaking digital barriers through voice commands

Juliana Camargo^[0000-0002-7537-5697], Telmo Silva^[0000-0001-9383-7659] and Jorge Ferraz de Abreu^[0000-0002-0492-2307]

¹ DigiMedia, Department of Communication and Arts, University of Aveiro, Aveiro, Portugal
{julianacamargo, tsilva, jfa}@ua.pt

Abstract. “Alexa, what time is it?”, “Alexa, are you okay?”, “Alexa, what does it mean to dream about elephants?”, “Alexa, are you my friend?”. These are some examples of phrases spoken by older adults, aged 60 to 89, who used the virtual assistant Alexa for 60 days in their homes. Despite their unfamiliarity with voice technology, they explored a feature that, for many, was their first experience with such technology. This study aims to evaluate how older adults interact with voice commands, encouraging them to perform everyday activities such as sending messages, browsing the internet, and listening to music. Overall, the experiment with 12 participants showed that they are willing to engage in these tasks and find value in them. They performed activities typically done by younger generations and felt included because of this. It was evident that, when faced with user-friendly technology, they lose their fear and feel motivated.

Keywords: voice commands, older adults, Alexa, digital literacy, virtual assistant, empowerment.

1 Introduction

As digitalization grows, exclusion also tends to expand worldwide. Think about it: many processes, actions, and tasks we perform today are done digitally, such as paying a bank bill, listening to music, and talking with family. But what about those who have difficulties accessing the resources that enable all this? This is the case for many older adults around the world. The lack of digital literacy has been a limiting factor for the adoption of increasingly essential technologies, such as the internet and mobile phones. Such exclusion contributes to the rise of negative indicators, such as social isolation and loneliness [1] [2]. On the other hand, various studies conducted in this field have found that virtual assistants, such as Amazon's Alexa, have great potential to facilitate the completion of these types of tasks [3] [4]. The ability to use verbal communication, something they've been doing since birth, is a huge advantage in the interaction between seniors and technology. Just ask Alexa, for example, to send a message to a loved one, and she does it right away. Or to make a phone call. Additionally, technology eliminates the need for typing, leaving their hands free. This convenience is crucial for those with motor or visual impairments, which are common among older individuals [5].

Previous studies conducted with virtual assistants have shown that the technology is extremely useful for older adults, who often use it to set alarms and reminders, request music, conduct internet searches, and engage in casual conversations, helping to reduce the feeling of loneliness that some experience [6] [7] [8]. However, for the experience to be positive, various researchers have identified that older adults need to receive prior training [5]. This way, they can understand how the technology works and how they can interact with it. This finding reinforces the need for proper training for seniors when it comes to adopting new technologies. With the right training, they can navigate the technology effectively. Additionally, there needs to be support available for any questions, whenever necessary [9].

Based on this scenario, we decided to take a deep dive into the ability of spoken commands to promote digital inclusion and, consequently, connect senior citizens to the world, especially to their families and friends. We chose to investigate this relationship (older adults and voice assistants) in a real-life context, in their daily lives, at home. Twelve individuals who had not yet used the technology were invited to use it for 60 days. From this experience, we identified different behavior patterns and changes in the seniors' feelings of loneliness. The results are distributed throughout this paper, which is organized into related work, presentation of the research project, dissemination of results, and conclusion/future work. It is important to note that a strong potential of voice assistants was observed in empowering seniors, who felt more valued and included after the experience.

2 Related Work

Loneliness and digital exclusion are recurring problems among senior individuals, according to the United Nations (UN) [10]. As the global population continues to age, considering actions aimed at older adults is essential to ensure healthy aging [11]. Voice commands, commonly used in assistants like Alexa, have been increasingly explored to facilitate the interaction of older adults with technological resources. Consequently, they can help reduce negative indicators, such as feelings of loneliness [12]. In the study conducted by Yan et al. (2024), 15 seniors over the age of 75 used the virtual assistant Alexa in their homes. The results showed that interactions with the system helped them feel more accompanied [12].

In this context, Upadhyay et al. (2023) conducted a systematic literature review, analyzing 16 developed studies, and found that voice assistants are considered by many senior individuals as 'good company.' Camargo et al. (2023) interviewed 110 seniors aged between 60 and 90 and found that voice resources are considered by the majority as an asset in accessing technology, especially for interacting with family and/or friends without needing to type [13]. Thus, they are valuable tools for promoting interactions through messages and/or phone calls.

In evaluating the experience of 12 older adults over 65 years old using a virtual assistant for 16 weeks, Kim et al. (2021) highlighted three relevant points: the first is related to companionship. The participants reported feeling less lonely. Another aspect is related to adherence. The elderly said they used the technology more because they

felt less afraid of making mistakes. This is largely due to the ease of resolving possible issues using only their voice [14]. Finally, the researchers highlighted that existing assistants still have limitations in interactions – if there were more fluid communication, older adults would likely spend more time interacting by voice [14]. In this context, to ensure a more natural interaction, Alessa & Al-Khalifa (2023) proposed a conversational assistant based on ChatGPT AI technology. The researchers found that the system was able to generate relevant responses for the elderly personas created for the study [15].

Another area where voice assistants tend to yield interesting results is health. Nallam et al. (2020) invited 10 older adults (over 60 years old) to evaluate an AI-based prototype and found that this group could identify advantages in using such systems to improve healthcare [16].

Given these studies presented here, it is possible to identify that voice commands have the potential to facilitate the daily lives of the elderly in different contexts, often serving as companionship. These experiences show that spoken interactions significantly contribute to empowering older individuals, who tend to have less "fear and anxiety" when deciding to use new technology (compared to others). Therefore, an in-depth analysis was conducted with 12 individuals, aged 60 to 89, in their homes, to observe how they interacted with the virtual assistant Alexa.

3 HUGTV prototype: procedure and tests

The analysis of voice command interactions presented here is part of the project HUGTV – Helping Unite Generations through Television. This project aims to evaluate whether the integration between voice assistants and notifications displayed on television can encourage older adults to contact their family and/or friends (through sending messages and making phone calls). In this paper, however, the objective is to explore the issue of voice assistants in isolation. It will also be assessed whether the notifications displayed on television influenced, in any way, the interactions between older adults and the voice assistants. These messages contained action suggestions, such as **"Do you miss your granddaughter? Say Alexa, call Mary"** and **"It's time to sleep! Send a message to someone you love"**. These notifications were sent through a web application developed by the multidisciplinary team of the research group Social iVX¹, from University of Aveiro. The development was carried out in partnership with MEO², a Portuguese IPTV provider, which enabled the sending and receiving of messages in a real context.

In total, therefore, 12 older adults (aged 60 to 89) used the Alexa assistant and received messages on the television for 60 days in their own homes. Before starting the experience, all participants received training, about 30 minutes each, which consisted of an explanation guided by support material previously prepared for older adults. This

¹ Available on: <https://socialtv.web.ua.pt/>.

² <https://www.meo.pt/>.

explanatory leaflet was built based on suggestions from a gerontologist and later evaluated by an 82-year-old individual, who was the beta tester of the project for 90 days [9].

During the installation of the equipment in the participants' homes, the elderly were also able to perform some tests with the support of the responsible researcher, such as sending messages, making phone calls, and requesting music. Additionally, the researcher made weekly phone calls and sent messages via Alexa to encourage use, identify possible problems, and answer questions. The participants also received a printed logbook, in which they were encouraged to perform at least one daily task and note their feelings about the experience. On this occasion, a characterization questionnaire (social characteristics and habits related to the use of digital resources) and the UCLA scale, which assesses the elderly's perception of loneliness, were also applied [17] [18]. The same scale was applied at the end of the tests so that we could compare the indicators – whether there were improvements or not.

All participants reported being positively surprised by the experience, with some liking it more than others. However, everyone saw the virtual assistant as a companion. The detailed results are presented in the following section.

4 Results and discussion

Twelve older adults, aged between 60 and 89 years (with an average age of 74 years), participated in the initial tests. Among them, 4 stated that they live alone and 8 live with their partners. Regarding academic qualifications, 1 participant said they have "basic education," 7 have "secondary education," and 4 have "higher education." Concerning the use of technological resources, we identified that all 12 individuals use "mobile phones" and "television"; 8 reported using "computers"; 6 said they use "smart-watches"; and 5 mentioned using "tablets." All the individuals consulted stated that they "have difficulties" with these devices – and usually seek help from family members. We also asked if the elderly miss talking to their loved ones: 7 said "yes" (5 said "no").

Regarding the interactions with Alexa, older adults interacted a total of 4,016 times. Considering the 60 days of testing, we have an average of 5.57 daily interactions per participant (which is higher than the proposed one interaction per day in the logbook). In other words, older adults performed the proposed tasks and also experimented with others different from those initially designed by the research team. We analyzed all interactions carried out during the period (with the participants' consent and all procedures conducted in accordance with the General Data Protection Regulation - GDPR). The interactions were grouped into 19 categories: "messages," "checking new messages," "phone calls," "music," "internet search," "daily conversations with Alexa," "news," "reminder scheduling," "calendar," "birthday," "integration with other devices," "timer," "alarm," "tell a joke," "tell a story," "prayers," "shopping list," "traffic," and "radio."

The category with the most interactions was "daily conversations with Alexa," with 730 occurrences, an important indicator of the virtual assistant's potential to provide companionship. Some of the phrases said by participants in this category were: "*Alexa*,

you are my friend"; "Alexa, I'm going out and will be back soon. Take care of the house"; "Alexa, where were you born?"; "Alexa, I had a strange dream. Can you tell me what it means?"; and "Alexa, Mary is not answering me. Does She like me?"

The second category with the highest volume of interactions was "sending messages." The participants sent 675 messages to their family members during the period. Additionally, they checked 598 times if they "had new messages." Combining these two categories, as they are related, we have a total of 1,273 interactions. Thus, messages account for the majority of interactions, representing 31.69% of them. Next are "music" requests, totaling 660 interactions; "internet searches" (330 interactions); "weather forecast" (256 interactions); "integration with other devices," such as lights and gates (226 interactions); and "phone calls" (199 interactions). All 19 categories and their respective interaction volumes are detailed in **Table 1**.

Table 1. Volume of interactions carried out by older adults (by category).

Categories	Interactions	Percentage	Notifications - TV
Messages	675	17%	X
Check for new messages	598	15%	X
Calls	199	5%	X
Music	660	16.5%	
Internet searches	310	7.8%	
Everyday conversations with Alexa	730	18%	
News	118	3%	
Reminders	78	2%	
Schedule	10	0.3%	
Birthdays	21	0.5%	X
Other gadgets	226	5.6%	
Timer	5	0.1%	
Alarm	11	0.3%	
Tell a joke	40	1%	
Tell a story	17	0.4%	
Weather forecast	256	6.4%	
Prayers	21	0.5%	
Shopping list	11	0.3%	
Traffic	9	0.2%	
Radio	21	0.5%	

After the tests, we conducted interviews to complement the quantitative analysis of the interactions and found that all participants reported doing tasks they had never done before, such as "searching the internet" and "listening to the weather forecast whenever they wanted." Some examples of comments include: *"Usually, we had to wait for the news to know if it would rain the next day. With Alexa, we have all the information*

whenever we want" (P1); "I had never set reminders on my phone or electronic calendars. With Alexa, I managed to do it and found it very useful" (P6); "Alexa told me stories. I never imagined that would be possible" (P2). Overall, all participants stated that they felt empowered to test the technology, making requests beyond what was proposed – and without fear of making mistakes. "I'm not afraid of making mistakes because with Alexa it's much easier to start over. You just ask. No need to press buttons" (P7); "It was very simple to understand how it works. You just ask for things. I didn't feel anxious or scared" (P12).

Regarding the TV notifications, we asked all participants if the messages encouraged them to perform the proposed activities. Ten individuals responded "yes," while 2 said "no." For most, the notifications are a way to remind them to interact with their family. Those who did not like the idea said that such messages disrupt the TV viewing experience and that Alexa alone is sufficient to encourage them to contact their family.

Finally, concerning the feeling of loneliness, we noticed significant differences in the comparison of the UCLA scale before and after the tests, as shown in **Table 2**.

Table 2. Comparison of the scores obtained on the UCLA scale - before and after the tests.

Participants	Age	Before tests	After tests	Live alone
1	77	30	21	No
2	77	30	23	Yes
3	75	25	23	No
4	78	22	17	No
5	82	19	23	No
6	70	35	30	Yes
7	89	33	26	Yes
8	68	30	29	No
9	70	26	27	No
10	71	39	32	No
11	73	40	28	Yes
12	60	25	20	No

There were changes in the UCLA scale results for all participants when comparing before and after the tests. In 10 individuals, we detected a decrease in the feeling of loneliness. In other words, these participants felt less lonely after their experience with Alexa (it is important to explain that the lower the score from the scale, the lower the feeling of loneliness the individuals have). However, two participants experienced an increase in the feeling of loneliness. One of them had the lowest number of interactions compared to the other participants. The other went through a serious illness during the period. Both factors may have influenced this feeling.

5 Conclusion and Future Work

Overall, the participants considered the experience with voice commands positive. An interesting indicator is that everyone performed activities they had not usually done in the digital environment, either due to lack of access or skill. The group found the assistant to be a practical option, mainly because it was not necessary to type to interact and/or obtain the desired responses. The actions involving the "messages" category were the most used by the participants, demonstrating the potential of voice assistants to connect people of different generations.

We also detected significant reductions in loneliness indicators. Of the 12 participants, 10 felt less lonely after the experience. By analyzing the interactions, we understood that frequent message exchanges contributed to this reduction. Additionally, the virtual assistant itself served as a companion for all the older adults. During the final interviews, we asked if they saw the assistant as a "companion," and everyone said "yes." It is also worth noting that all participants who live alone showed reductions in the UCLA scale. These indicators reinforce that voice commands are beneficial in several aspects: i) they add practicality to the interaction experience, as it is not necessary to type; ii) they help reduce the fear of making mistakes when facing new tasks; iii) they have the potential to stimulate social interactions; and iv) they contribute to the digital empowerment of seniors.

As future work, we continued the field tests (there were 20 in total) and are working on analyzing data from these more recent interactions, the results of which will be published in future papers.

Acknowledgments: The study reported in this publication was supported by FCT– Foundation for Science and Technology number 2021.08671.BD and DigiMedia Research Centre, under the project UIDB/05460/2020.

References

1. Seifert, A., Cotten, S.R., Xie, B.: A Double Burden of Exclusion? Digital and Social Exclusion of Older Adults in Times of COVID-19. *Journals of Gerontology - Series B Psychological Sciences and Social Sciences*. 76, E99–E103 (2021). <https://doi.org/10.1093/geronb/gbaa098>.
2. Mubarak, F., Suomi, R.: Elderly Forgotten? Digital Exclusion in the Information Age and the Rising Grey Digital Divide, (2022). <https://doi.org/10.1177/00469580221096272>.
3. Orlofsky, S., Wozniak, K.: Older adults' experiences using Alexa. *Geriatr Nurs (Minneapolis)*. 48, 240–250 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2022.09.017>.
4. Sin, J., Munteanu, C., Waycott, J., N. Brewer, R., Sayago, S., Lazar, A., Weber, A.: Alexa, Tell Me a Joke!: "Voice Interfaces are Truly Inclusive." In: *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. Association for Computing Machinery (2022). <https://doi.org/10.1145/3491101.3516508>.
5. Upadhyay, P., Heung, S., Azenkot, S., Brewer, R.N.: Studying Exploration & Long-Term Use of Voice Assistants by Older Adults. In: *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. Association for Computing Machinery (2023). <https://doi.org/10.1145/3544548.3580925>.

6. Kowalski, J., Skorupska, K., Kopeć, W., Jaskulska, A., Abramczuk, K., Biele, C., Marasek, K.: Older adults and voice interaction: A pilot study with google home. In: Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings (2019). <https://doi.org/10.1145/3290607.3312973>.
7. Pradhan, A., Lazar, A., Findlater, L.: Use of intelligent voice assistants by older adults with low technology use. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. (2020). <https://doi.org/10.1145/3373759>.
8. Jones, V.K., Hanus, M., Yan, C., Shade, M.Y., Blaskewicz Boron, J., Mas-chieri Bicudo, R.: Reducing Loneliness Among Aging Adults: The Roles of Personal Voice Assistants and Anthropomorphic Interactions. *Front Public Health*. 9, (2021). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.750736>.
9. Camargo, J.S.T.F. de A.J.: Empowering Older Adults: A User-Centered Approach Combining iTV and Voice Assistants to Promote Social Interactions. In: Marcus Aaron and Rosenzweig, E. and S.M.M. (ed.) *Design, User Experience, and Usability*. pp. 13–25. Springer Nature Switzerland, Cham (2024).
10. United Nations Department of Economic and Social: World Social Report 2023. United Nations (2023). <https://doi.org/10.18356/9789210019682>.
11. WHO: World mental health report. (2022).
12. Yan, C., Johnson, K., Jones, V.K.: The Impact of Interaction Time and Ver-bal Engagement with Personal Voice Assistants on Alleviating Loneliness among Older Adults: An Exploratory Study. *Int J Environ Res Public Health*. 21, (2024). <https://doi.org/10.3390/ijerph21010100>.
13. Camargo, J.D., Silva, T., Abreu, J.: Always together: combining TV notifi-cations and voice interactions to connect older adults to other generations. In: Proceedings of the 2024 ACM International Conference on Interactive Media Experiences. pp. 388–393. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2024). <https://doi.org/10.1145/3639701.3663642>.
14. Kim, S., Choudhury, A.: Exploring older adults' perception and use of smart speaker-based voice assistants: A longitudinal study. *Comput Human Behav*. 124, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106914>.
15. Alessa, A., Al-Khalifa, H.: Towards Designing a ChatGPT Conversational Companion for Elderly People. In: *ACM International Conference Proceeding Series*. pp. 667–674. Association for Computing Machinery (2023). <https://doi.org/10.1145/3594806.3596572>.
16. Nallam, P., Bhandari, S., Sanders, J., Martin-Hammond, A.: A Question of Access: Exploring the Perceived Benefits and Barriers of Intelligent Voice Assistants for Improving Access to Consumer Health Resources Among Low-Income Older Adults. *Gerontol Geriatr Med*. 6, (2020). <https://doi.org/10.1177/2333721420985975>.
17. Austin, B.A.: Factorial Structure of the UCLA Loneliness Scale. *Psychol Rep*. 53, 883–889 (1983). <https://doi.org/10.2466/pr0.1983.53.3.883>.
18. Pocinho, M., Farate, C., Dias, C.A.: Validação Psicométrica da Escala UCLA-Loneliness para Idosos Portugueses. (2010).

Design and Development of a Mobile App for the Measurement of Sepsis Risk in Patients in Pre-Hospital Settings

Isabel Herrera Montano¹, Isabel de la Torre Díez¹, Adolfo José Dopico González¹, and Francisco Martín Rodríguez²

¹Department of Signal Theory and Communications and Telematics Engineering University of Valladolid, Paseo de Belén, 15, 47011 - Valladolid, Spain
{isabel.herrera.montano, isator}@uva.es
dopi246@gmail.com

²Faculty of Medicine, University of Valladolid, Spain
fmartin@saludcastillayleon.es

Abstract. Sepsis is a life-threatening condition that requires early identification, especially in prehospital environments where rapid decision-making is critical. However, most existing tools for sepsis risk assessment are designed for hospital settings and rely on parameters that are difficult to obtain in ambulances or emergency situations. This paper presents the design and development of a mobile application capable of calculating three validated clinical scales: qSOFA, NEWS2, and MSOFA, within a single tool adapted for prehospital use. The application was developed using native technologies (Kotlin for Android and Swift for iOS), ensuring optimal performance and compatibility. It features a simple and intuitive interface, designed to minimize cognitive load for paramedics under high-pressure conditions. The developed tool was validated through functional testing on real devices and expert clinical review by an emergency physician. Results show that the application calculates the combined scales in less than 5 seconds, providing rapid risk assessment. Compared to existing apps, this tool is the only one integrating the three scales into a single interface, offering full Spanish support and being ad-free. Thus filling a critical gap in the current landscape of sepsis tools for emergency care in Spain.

Keywords: Sepsis, scales, qSOFA, MSOFA, NEWS2.

1 Introduction

Sepsis, a systemic inflammatory syndrome triggered by a dysregulated response to infection, remains one of the leading causes of mortality worldwide. It affects millions of people each year, with devastating consequences for those afflicted. Despite advancements in its management within hospital settings, identifying this

condition in pre-hospital environments, such as ambulances, continues to be a critical challenge. In these scenarios, time is of the essence, and timely intervention can mean the difference between life and death. Paramedics in these contexts face life-saving challenges, including the need to rapidly assess patients with limited resources and under high-pressure conditions. However, the lack of specific tools to identify sepsis risk in these environments significantly complicates decision-making processes [1, 7].

This paper aims to present the development of a mobile application capable of calculating the qSOFA, MSOFA and NEWS2 clinical scales, adapted to pre-hospital conditions. The tool is designed to be intuitive and efficient, allowing paramedics to input basic data and obtain real-time results. This project is based on the premise of leveraging the accessibility and versatility of mobile devices to improve clinical assessments in critical situations. Throughout the document, the process of designing, developing and validating the tool is detailed, addressing both technical and operational challenges. Beyond being a technological solution, this work represents an effort to integrate innovation with clinical practice. It marks a significant advance in the early management of sepsis and the optimisation of available resources in emergency situations.

2 Overview

The concept of sepsis has evolved since 1992, when the first international conference introduced the definition based on the Systemic Inflammatory Response Syndrome (SIRS). Although this criterion was useful at the time, it proved to be nonspecific, leading to revisions in 2001 and, ultimately, the Third International Conference on Sepsis Definitions in 2016, known as Sepsis-3. This marked a significant shift in the way the disease is diagnosed and defined. Sepsis was redefined as a "life-threatening organ dysfunction caused by a dysregulated host response to infection." Additionally, the SOFA scale was recommended to assess the severity of organ dysfunction. However, in resource-limited settings, such as ambulances, simplified scales like qSOFA have proven to be more practical, as they do not require immediate laboratory tests [7–9].

Clinical scales such as SOFA, qSOFA, MSOFA, and NEWS2 are key tools for assessing sepsis risk. SOFA, designed to monitor the progression of organ dysfunction, is useful in hospital settings, whereas qSOFA, with just three clinical criteria (blood pressure, respiratory rate, and mental status), is specifically designed for non-ICU environments. Meanwhile, NEWS2 extends its application to the general monitoring of patients, detecting clinical deterioration through basic vital parameters [3, 4].

Regarding technological solutions, the development of mobile applications has revolutionized healthcare. These tools enable the implementation of clinical scales in real time, optimizing decision-making and improving the continuity of clinical care. Moreover, these technologies are designed to be accessible, operating with basic instrumentation available in ambulances and facilitating communication with

hospitals through data export capabilities [2, 5, 6].

In an analysis of mobile applications available on Google Play (Spain), related to sepsis and the scoring scales used in its diagnosis, tools such as qSOFA Score Calculator [14] and SOFA Calculator [10] were found. These tools allow calculation of the qSOFA and SOFA scales, although with limitations in prehospital settings. Other applications such as NEWS2 Chart [13] and NEWS2 National Early Warning [12] implement the NEWS2 scale, but lack integration with other relevant metrics. Sepsis Clinical Guide [15] offers a more complete solution with sepsis information and qSOFA and SOFA calculators, but without support for MSOFA. Finally, Medscape [11] stands out as the most educational, with a wide variety of medical tools, although without MSOFA scale integration.

Existing apps show significant advances in the definition, assessment and treatment of sepsis. However, difficulties remain in implementing practical tools in resource-limited settings, underscoring the need for innovative solutions such as those proposed in this project.

3 Development Methodology

The development of the application started with the identification of functional and technical requirements, defined based on the pre-hospital use environment. The following are the requirements established: 1) cross-platform compatibility for Android and iOS devices; 2) integration of the qSOFA, NEWS2 and MSOFA scales; 3) an interface adapted to high-pressure situations; and 4) the ability to operate with basic data obtained directly in an ambulance environment.

Due to the need for optimization and full compatibility, native development was chosen, using Kotlin for Android and Swift for iOS, thus allowing to take advantage of the specific libraries and optimizations of each platform. The application architecture was designed in a modular way, organizing the system in independent functional blocks. The first module manages the capture of personal and clinical data, including age, biological sex, weight, height and parameters such as respiratory rate or blood pressure. A second module handles the calculations, implementing the specific algorithms for each scale. A third module manages the graphical interface and the navigation flow between screens. This modular structure facilitates future upgrades or adaptations.

The interaction flow was specifically designed to minimize the user's cognitive load in an emergency environment. The application starts with a legal notice screen, reminding the user that this is a support tool and not a substitute for professional medical assessment. After accepting the notice, the user enters basic personal and clinical data in a simplified form. From the main menu, one can access the combined assessment ("Suspected Infection"), which runs the three scales sequentially, or select the individual calculation of qSOFA, NEWS2 or MSOFA. The menu also provides access to a documentation and scientific references section. Finally, each assessment culminates with a results screen, showing the scores obtained and a risk level represented by a color code (green, yellow or red), facilitating quick

interpretation. The flowchart (see figure 1), which reflects this logical sequence of interaction designed during the development process, is shown below.

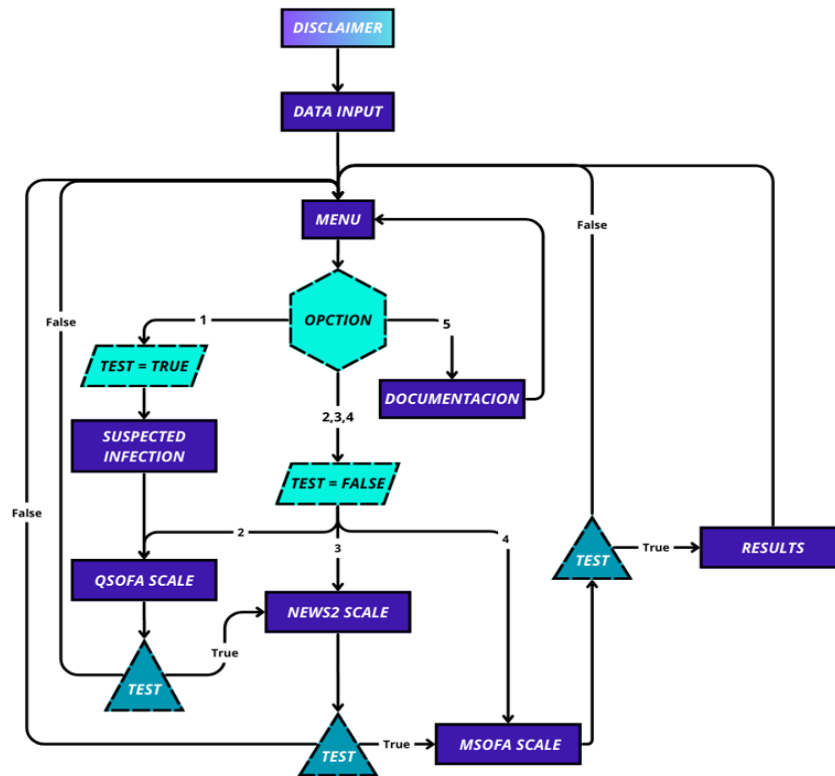


Fig. 1. Interaction flowchart (Source: Own)

The development was carried out using Android Studio for the Android version and Xcode for iOS, both official environments for each platform. The source code was developed in a hybrid environment, using an iMac for the iOS version and a Windows PC for the Android version. Initial testing was performed on emulators configured with Android 7 and iPhone 7, in order to ensure minimum compatibility. Subsequently, the application was evaluated on real devices, namely a Xiaomi X4 GT for Android and an iPhone 11 for iOS, thus validating its performance and stability on hardware of different generations.

To validate the clinical suitability of the app, an expert review was conducted with a physician specializing in prehospital emergencies. This review assessed the consistency of the data requested, the adequacy of the formulas implemented, and the clarity of the presentation of results. This initial validation, although not a formal usability test, allowed us to adjust certain details in the medical terminology and ensure that the app accurately reflects current clinical practice.

4 Results and Discussion

The developed application was able to successfully integrate the three defined clinical scales (qSOFA, NEWS2 and MSOFA). This integration was verified by functional tests performed on real devices. The results obtained were found to be in full agreement with the values expected when replicating simulated clinical cases. The complete calculation of the three combined scales is executed in an average time of less than 5 seconds, ensuring an adequate response for use in emergencies.

Compatibility testing confirmed that the app is operational on Android 7+ and iOS 11+. This makes it possible to cover a wide range of devices, including older terminals still in use in emergency services. In terms of stability, no critical crashes or unexpected shutdowns were observed during testing, ensuring robust behavior.

Evaluation of the interface and interaction flow showed that the linear design facilitates intuitive use. From the home screen (see figure 2), the user can complete a combined or individual assessment in a few taps, optimizing the time required in critical situations. The medical expert who reviewed the application confirmed that the order of the screens is logical and that the parameters requested are those strictly necessary for the application of each scale. This functional validation makes it possible to affirm that the design is aligned with standard practices in the prehospital environment.

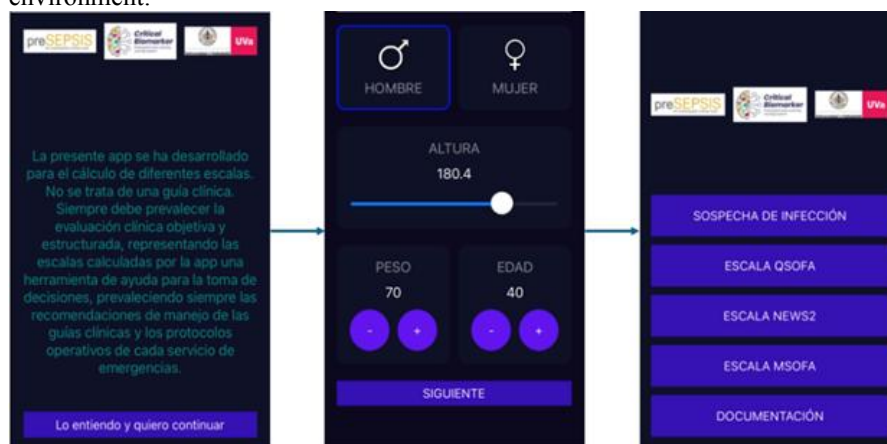


Fig. 2. First screens of the app (Source: Own)

Figure 3 shows the screen of the assessment process using the qSOFA scale, designed to rapidly identify sepsis risk in prehospital settings. The interface presents the three key clinical parameters: elevated respiratory rate (≥ 22 breaths per minute), altered mental status, and systolic blood pressure ≤ 100 mmHg. Each of these criteria is represented as a checkbox, allowing the user to mark those signs present in the patient being evaluated. As parameters are selected, the app automatically calculates and updates the total score, displaying it at the bottom of the screen.

The score is colored according to the level of risk detected: green for 0 points

(no risk), yellow for 1 point (moderate risk) and red for 2 or more points (high risk of sepsis). Once the scale is completed, the user can advance to the next screen using the “Next” button, thus integrating the qSOFA calculation within a broader assessment flow that includes NEWS2 and MSOFA.

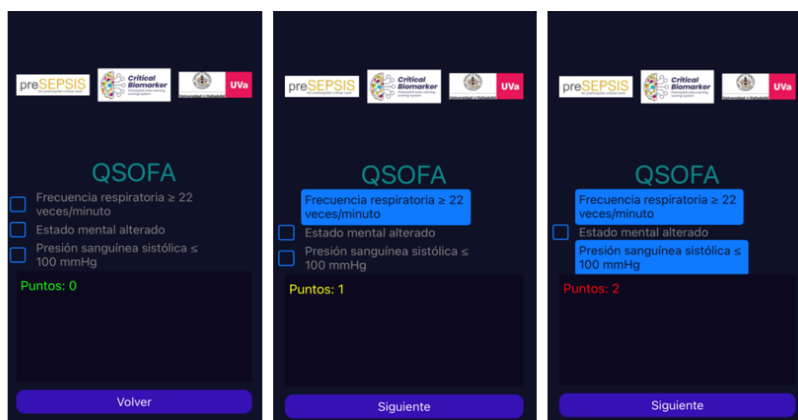


Fig. 3. Screen of the assessment process using the qSOFA scale (Source: Own)

The presentation of results uses a color code to indicate the level of risk associated with the scores obtained (see figure 4). This graphical representation simplifies immediate interpretation and is in line with triage methodologies used in the emergency department. In the expert review, this format was positively evaluated, noting that it facilitates rapid decision making by reducing the cognitive burden on the user.



Fig. 4. Screen app of result presentation (Source: Own)

To contextualize the scope of the developed tool, a functional comparison was performed. Existing mobile applications related to sepsis detection were analyzed. The review included both specialized sepsis calculators and general medical calculation apps. The goal was to identify available functionalities and detect possible gaps.

The comparison focused on several factors. First, the presence of qSOFA, NEWS2, and MSOFA scales was verified. Second, the usability of each app in emergency situations was assessed. Third, the presence of advertisements was recorded. Finally, language availability and adaptation to prehospital use were considered.

Table 1 summarizes the results of this comparison. None of the existing apps combined the three key scales in a single tool. Most applications showed important limitations. Several only supported English, included advertisements, or lacked a simple interface for urgent use. This functional review confirmed the need for a new application. The proposed app addresses these gaps by offering a combined, ad-free, and Spanish-compatible tool designed for prehospital sepsis detection.

Table 1. Comparison of sepsis-related applications.

App Feature	qSOFA Score Calculator	Calculadora SOFA	Sofa Score Calculator	NEWS2 Chart	NEWS2 (National Early Warning)	Sepsis Clinical Guide	Medscape	Our APP
qSOFA Scale	✓	✓	✓			✓	✓	✓
NEWS2 Scale				✓	✓	✓	✓	✓
MSOFA Scale								✓
Simple	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Usable in emergency situations	✓	✓		✓	✓			✓
No advertisements	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Spanish language		✓				✓		✓

5 Conclusions

The developed application provides a functional and operational tool for early sepsis detection in prehospital environments. The app integrates the qSOFA, NEWS2, and MSOFA scales into a single platform. This combined approach simplifies the assessment process and reduces errors caused by using multiple disconnected tools. The application supports both Android and iOS. Native development ensures optimized performance and a smooth experience on each platform. The user interface was reviewed by an emergency physician. The expert validated its clarity and ease of use, even in high-pressure situations. The app also includes full Spanish language support, addressing a gap found in most current sepsis tools. A functional comparison with existing applications confirmed that none of the reviewed apps combine all three scales. Many existing solutions contain advertisements or lack Spanish support. Therefore, the developed application not only meets functional needs but also provides a targeted solution for prehospital emergency care.

This development has several important limitations. First, the app has not undergone a formal usability evaluation with a sample of emergency professionals under real working conditions. The expert review performed is useful but not a substitute for structured usability testing. Second, the app fully relies on manual data entry. This dependency increases the risk of human error, especially during high-stress situations. This is a common limitation in medical apps, but it affects reliability. Third, the app does not support direct connection to medical devices (e.g., pulse oximeters or multiparameter monitors). As a result, users need to manually transfer values, increasing workload and potential for transcription errors. In addition, the current export functionality is manual. There is no direct integration with hospital systems using standards such as HL7 or FHIR. Finally, the app was designed and tested within the Spanish healthcare context. Its applicability to other healthcare systems might require adaptations. Some regions use different sepsis criteria, vital sign thresholds, or scoring systems.

Future research should include a formal usability study. This evaluation should involve prehospital emergency professionals using the app in realistic simulations. Standard usability metrics, such as the System Usability Scale, should be applied. Additional qualitative feedback would also enrich the analysis. Another key area for future development is integration with portable medical devices. Direct data acquisition would improve accuracy and reduce the time needed to perform each assessment. This would also minimize errors caused by manual data transcription. Future work should also focus on interoperability. A dedicated module for direct integration with electronic health records should be developed. This could rely on international standards like HL7 or FHIR, ensuring seamless transfer of data between prehospital and hospital systems. Finally, a prospective clinical study should be conducted. This study should compare the diagnostic performance of the application (sensitivity, specificity, predictive value) against standard clinical assessment performed by experienced emergency physicians. Such evaluation would provide robust evidence of the app's clinical impact.

References

1. Fundación Telefónica: TIC y salud personal. 105 (2013).
2. Galvagno, S.M. et al.: Prehospital Point of Care Testing for the Early Detection of Shock and Prediction of Lifesaving Interventions. *Shock*. 54, 6, 710–716 (2020). <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000001567>.
3. Lambden, S. et al.: The SOFA score—development, utility and challenges of accurate assessment in clinical trials. *Critical Care*. 23, 1, 374 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2663-7>.
4. Marik, P.E., Taeb, A.M.: SIRS, qSOFA and new sepsis definition. *Journal of Thoracic Disease*. 9, 4, 943–945 (2017). <https://doi.org/10.21037/jtd.2017.03.125>.
5. Pimentel, M.A.F. et al.: A comparison of the ability of the National Early Warning Score and the National Early Warning Score 2 to identify patients at risk of in-hospital mortality: A multi-centre database study. *Resuscitation*. 134, 147–156 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.09.026>.
6. Pintos, G.C. de: Desarrollo y evaluación de una App en Android de escale qSOFA para Sepsis. (2020).
7. Redondo-González, A. et al.: Assessment of the severity scores in patients included in a sepsis code in an emergency department. *Revista Espanola de Quimioterapia*. 31, 4, 316–322 (2018).
8. Rudd, K.E. et al.: Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990–2017: analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*. 395, 10219, 200–211 (2020). [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32989-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32989-7).
9. Singer, M. et al.: The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA*. 315, 8, 801 (2016). <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0287>.
10. Calculadora SOFA - Apps en Google Play.
11. Medscape - Apps on Google Play., <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.medscape.android>.
12. NEWS 2 - National Early Warnin - Aplicaciones en Google Play., <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gumptonmultimedia.news2&hl=es>.
13. NEWS2 Chart - Apps on Google Play., <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gumptonmultimedia.news2chart>.
14. qSOFA Score calculator - Apps on Google Play., <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gumptonmultimedia.qsofa&pli=1>.
15. Sepsis Clinical Guide - Apps en Google Play., https://play.google.com/store/apps/details?id=app.escavo.sepsis&hl=es_419.

Revisión: Optimización de la Continuidad Asistencial para Pacientes Crónicos mediante IA Generativa, Metaverso y Asistentes Virtuales Inteligentes Afectivos en OTT

Javier Cabo-Salvador^{1,6}, José M. Ramírez⁵, Carlos de Castro^{2,4,5}, Verónica Cabo Muiños^{1,2,4,6,7}, Rafael Iglesias^{2,6}, Juan J. Lopez-Ibor⁶, Joan Arambarri⁵, Isabel de Castro⁸, Isabel de la Torre⁹, Yoan Martínez López¹⁰

¹Departamento Ciencias de la Salud y Cátedra de Gestión Sanitaria. Universidad a distancia de Madrid UDIMA

²IHM-Medical Technology. Madrid

³Cátedra de Ingeniería Biomédica. Universidad Católica de Murcia (UCAM)

⁴Cátedra de Investigación Biomédica. Universidad Católica Nordestana

⁵CITEC. Universidad de Córdoba

⁶Medical UHealthCare. Madrid

⁷Hospital Central de la Cruz Roja. Madrid

⁸Instituto Maimónides de Investigación Biomédica de Córdoba (IMIBIC)

⁹Esc. Téc. Sup. de Ing. de Telecomunicaciones. Universidad de Valladolid

¹⁰University of Camaguey, Cuba

{carlosp, z82agcoj, egscalcines}@uco.es
ymlopez2022@gmail.com

Resumen. La gestión de pacientes crónicos enfrenta el desafío de garantizar una continuidad asistencial efectiva, permitiendo que los seguimientos médicos se realicen en entornos extrahospitalarios de manera personalizada, segura y eficiente. Este artículo presenta el uso de Agentes Virtuales Inteligentes Afectivos (AVIA) integrados en plataformas OTT como solución clave para transformar la atención remota. Estas herramientas, combinadas con tecnologías como el metaverso y estándares de interoperabilidad HL7FHIR, facilitan la creación de Historias Clínicas Digitales y mejoran la conectividad entre sistemas, optimizando la atención sanitaria. Los AVIA ajustan las intervenciones en tiempo real, personalizándolas según las necesidades del paciente y promoviendo su autogestión y aprendizaje proactivo. Además, el metaverso introduce experiencias inmersivas que potencian la tele-rehabilitación y la teleasistencia, mejorando la adherencia a los tratamientos. Estas plataformas OTT pueden configurarse en la nube, en servidores locales o en modelos híbridos, adaptándose a necesidades específicas de personalización, seguridad y estrategias de monetización. La integración de redes de entrega de contenidos transmedia (CDNT) y sistemas de gestión de derechos digitales (DRM) garantiza la protección de datos sensibles. Este enfoque no solo reduce la carga hospitalaria y las listas de espera, sino que también promueve una medicina más proactiva y participativa, mejorando significativamente la calidad de vida de los pacientes crónicos.

Palabras clave: Agentes Virtuales Inteligentes Afectivos (AVIA), Continuidad Asistencial, Plataformas OTT, Metaverso, Teleasistencia y Telerehabilitación, Medicina Personalizada.

1 Introducción

La atención sanitaria moderna enfrenta desafíos crecientes debido al envejecimiento poblacional y el aumento de pacientes con enfermedades crónicas complejas. Según la Sociedad Española de Medicina Interna [1], el 61% de los pacientes que ingresan en Medicina Interna son crónicos complejos, y el 40% presenta pluripatologías. Este perfil de pacientes no solo requiere un manejo integral de sus condiciones de salud, sino también un enfoque innovador que garantice la continuidad asistencial, optimice recursos y promueva su autonomía. En este contexto, las tecnologías emergentes, como la Inteligencia Artificial Generativa (IAg), los Asistentes Virtuales Inteligentes Afectivos (AVIA) y el metaverso, están transformando la manera en que se presta la atención sanitaria. Estas herramientas avanzadas han demostrado ser clave para personalizar la atención, mejorar la experiencia del paciente y facilitar la prestación de servicios en entornos extrahospitalarios. Las plataformas Over-The-Top (OTT) proporcionan una infraestructura tecnológica que permite integrar estas soluciones de manera eficiente mediante estándares internacionales como HL7-FHIR [2]. Además, la implementación de estándares internacionales como HL7-FHIR para la interoperabilidad y la gestión eficiente de Historias Clínicas Digitales asegura una continuidad asistencial efectiva. Esto resulta especialmente relevante en un modelo sanitario que busca reducir las hospitalizaciones innecesarias y fomentar la atención en el hogar o en entornos comunitarios [4]. Por otro lado, los avances en el metaverso como herramienta inmersiva han permitido desarrollar entornos virtuales para la rehabilitación y la educación sanitaria. Estas aplicaciones no solo mejoran la adherencia a los tratamientos, sino que también facilitan la interacción entre pacientes y profesionales de la salud, promoviendo un envejecimiento saludable y una mayor autonomía de las personas mayores [3].

Life Expectancy by region [years] 1950 - 2015

Source: <https://ourworldindata.org/life-expectancy>



Fig. 1. Esperanza de vida por regiones 1950-2015 Tomado de: Esperanza de vida en el mundo (regiones) 1950-2015 ¹

¹ Datacy. <https://datacy.es/blog/esperanzadevidaen-el-mundo-regiones-1950-2015/>

Finalmente, las proyecciones de esperanza de vida en países industrializados reflejan un incremento continuo, alcanzando cifras superiores a los 83 años. Este fenómeno acentúa la necesidad de transformar los sistemas de salud para abordar las condiciones crónicas y garantizar una calidad asistencial sostenible [5]

El metaverso, en particular, ha surgido como una herramienta innovadora en el ámbito de la telerehabilitación y la educación sanitaria. Al proporcionar entornos inmersivos, permite a los pacientes participar en programas de rehabilitación funcional y actividades educativas que fomentan su adherencia a los tratamientos y fortalecen su bienestar emocional. Estas experiencias, además, facilitan la interacción dinámica entre profesionales de la salud y pacientes, promoviendo un envejecimiento saludable y una mayor autonomía [2]. Por su parte, los AVIA representan una solución tecnológica clave para la personalización de la atención. Estas herramientas utilizan algoritmos avanzados de inteligencia artificial para analizar datos biométricos y emocionales en tiempo real, ajustando las intervenciones según las necesidades del paciente. Este enfoque no solo mejora la autogestión del paciente, sino que también potencia la eficiencia de los servicios sanitarios, reduciendo hospitalizaciones innecesarias y optimizando la asignación de recursos [6]. Adicionalmente, las plataformas OTT ofrecen modelos flexibles de configuración tecnológica, desde soluciones en la nube hasta servidores locales o híbridos. Esto permite adaptar los servicios a necesidades específicas de personalización y seguridad, al tiempo que garantiza la protección de datos sensibles mediante el uso de redes de entrega de contenido (CDNT) y sistemas de gestión de derechos digitales (DRM) [7]. En conclusión, la integración de estas tecnologías emergentes redefine el paradigma de la atención sanitaria, promoviendo un modelo centrado en el paciente que mejora la calidad asistencial y asegura la sostenibilidad del sistema. Este capítulo analizará en detalle las oportunidades y desafíos asociados con la implementación de estas herramientas en la gestión de pacientes crónicos, evaluando su impacto en la calidad asistencial, la autonomía de los pacientes y la optimización de recursos disponibles.

2 Metodología

2.1 Diseño del Estudio

El diseño metodológico adoptado fue de carácter mixto, combinando el desarrollo tecnológico de una plataforma basada en tecnologías avanzadas y la evaluación clínica de su impacto en la gestión de pacientes crónicos. Este enfoque se estructuró en dos fases principales:

Fase de Desarrollo Tecnológico

Prototipado de la Plataforma OTT: Se desarrolló una plataforma híbrida que integra tecnologías como el metaverso y la inteligencia artificial generativa (IAg). Este diseño se fundamentó en estándares de interoperabilidad HL7-FHIR, asegurando la conectividad entre sistemas y la creación de Historias Clínicas Digitales. Investigaciones previas en "virtual wards", como las realizadas por NHS England, destacan la eficacia de estos enfoques para reducir hospitalizaciones y mejorar la experiencia del paciente [8].

Integración de Tecnologías Exponenciales: Los Asistentes Virtuales Inteligentes Afectivos (AVIA) se diseñaron utilizando algoritmos de IAg para personalizar interacciones y mejorar la adherencia al tratamiento. Esta

implementación se sustentó en estudios que destacan la importancia de la inteligencia emocional en la atención remota [6].

Uso del Metaverso: Se implementaron entornos inmersivos para telerehabilitación y educación sanitaria. Estas simulaciones virtuales se basaron en evidencia que respalda su uso para mejorar resultados clínicos y la adherencia terapéutica en pacientes crónicos [3].

Fase de Evaluación Clínica y Operativa

Evaluación de Impacto Clínico: Se midieron indicadores clave como adherencia al tratamiento, reducción de hospitalizaciones y mejora de la calidad de vida. Estos datos se analizaron en tiempo real mediante herramientas interoperables basadas en HL7-FHIR [9].

Análisis de Costo-Efectividad: Se realizó un análisis económico para evaluar el retorno de inversión, destacando ahorros significativos frente a la atención hospitalaria convencional [10].

Pruebas de Usabilidad: Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con pacientes y profesionales de la salud para analizar barreras y facilitadores en la implementación tecnológica. Estas pruebas se alinearon con metodologías centradas en el usuario [11].

2.2 Población y Muestra

La población objetivo incluyó pacientes mayores de 18 años con enfermedades crónicas como insuficiencia cardíaca, diabetes y enfermedad renal crónica. Los criterios de inclusión fueron: diagnóstico confirmado, historial de hospitalizaciones recientes y acceso o disposición para usar dispositivos tecnológicos proporcionados por el proyecto. Se excluyeron pacientes en cuidados paliativos o con barreras significativas para el uso de tecnología sin apoyo adecuado [12]. La muestra final consistió en 346 pacientes seleccionados consecutivamente de centros de referencia.

2.3 Procedimientos

Onboarding de Pacientes: Los participantes asistieron a talleres para el uso de la plataforma y dispositivos como sensores de monitorización. Este enfoque se inspiró en implementaciones exitosas de "virtual wards" documentadas por NHS England (2021). Monitoreo y Seguimiento Remoto: Se recolectaron datos biométricos diarios mediante dispositivos conectados y se analizaron con algoritmos de IA para detectar descompensaciones. Esta metodología ha demostrado ser efectiva en la detección temprana de complicaciones [13]. Evaluaciones Periódicas: Los pacientes participaron en consultas virtuales semanales y presenciales mensuales para ajustar planes de tratamiento. Este modelo se basó en las mejores prácticas descritas por [7].

2.4 Análisis de Datos

Se emplearon enfoques cuantitativos y cualitativos. Cuantitativos: Análisis estadísticos descriptivos e inferenciales para evaluar la eficacia de la plataforma en la reducción de hospitalizaciones y mejora de calidad de vida. Cualitativos: Entrevistas semiestructuradas para identificar barreras y facilitadores en la implementación de tecnologías avanzadas.

3 Resultados

La implementación de la plataforma tecnológica basada en inteligencia artificial generativa (IAG), Asistentes Virtuales Inteligentes Afectivos (AVIA) y el metaverso arrojó resultados significativos en indicadores clínicos, económicos y de experiencia del usuario. A continuación, se presenta un resumen refinado de los principales hallazgos.

Tabla 1. Resumen de los principales resultados cuantitativos obtenidos tras la implementación de la plataforma tecnológica

Indicador	Resultado Numérico	Fuente
Reducción de hospitalizaciones no programadas	32%	Cabo-Salvador et al. (2017) [4]; Dhalla et al. (2014) [5]
Incremento en la adherencia terapéutica	25%	Cabo-Salvador et al. (2018) [5]
Mejora en la calidad de vida percibida	18% en índice EQ-5D-5L	WHO (2015) [3]; Cabo-Salvador et al. (2017) [4]
Ahorros en costos operativos	28%	Cabo-Salvador et al. (2018) [5]; Lewis et al. (2013) [5]
Retorno de inversión (ROI)	Recuperación en 12 meses	NHS England (2023) [5]
Satisfacción del paciente	87% calificó como "muy satisfactoria"	Cabo-Salvador et al. (2017) [4]
Reducción de carga administrativa	20%	Vindrola-Padros et al. (2021) [5]
Participación en programas de telerehabilitación inmersiva	78%	WHO (2015) [3]; Cabo-Salvador et al. (2017) [4]
Mejora en pruebas funcionales (6MWT)	22%	Royal College of Paediatrics and Child Health (2023) [3]

4. Discusión

Los resultados obtenidos confirman que la implementación de tecnologías exponenciales como la IAG, los AVIA y el metaverso tiene el potencial de transformar significativamente la atención sanitaria. Los principales beneficios incluyen:

Mejora de Resultados Clínicos: Reducción de hospitalizaciones, mayor adherencia al tratamiento y mejoras en la calidad de vida.

Optimización de Recursos: Ahorro significativo en costos operativos y retorno de inversión en un plazo corto. **Aceptación y Usabilidad:** Alta satisfacción

tanto en pacientes como en profesionales, con integración efectiva en los flujos de trabajo clínico. Estos resultados refuerzan la viabilidad y el impacto positivo de estas herramientas en la gestión de pacientes crónicos, sentando las bases para su adopción generalizada en sistemas de salud modernos.

5. Conclusiones

La implementación de tecnologías exponenciales, como la Inteligencia Artificial Generativa y los Asistentes Virtuales Inteligentes Afectivos, ha transformado la atención sanitaria hacia modelos más proactivos y personalizados, mejorando la calidad de vida de los pacientes crónicos y reduciendo hospitalizaciones no programadas. Además, estas tecnologías han demostrado ser económicamente viables al disminuir costos operativos y facilitar la interoperabilidad en sistemas complejos, aunque todavía enfrentan desafíos en términos de accesibilidad y seguridad de datos. La aceptación por parte de usuarios y profesionales ha sido alta, destacando la necesidad de capacitación continua para maximizar su impacto y abordar preocupaciones sobre el aislamiento social y la dependencia tecnológica.

Referencias

1. Smith, T.F., Waterman, M.S.: Identification of Common Molecular Subsequences. *J. Mol. Biol.* 147, 195–197 (1981)
2. Cabo-Salvador, J., de Castro, C., Cabo, V., Ramos, J., & López, M. (2017). El futuro de la IPTV integrada con la inteligencia artificial en la gestión sociosanitaria integrada. *Proceedings of the 6th Iberoamerican Conference on Disease Management*.
3. Cabo-Salvador, J., Velarde, J. M., Cabo, V., de Castro, C., & Ramos, J. (2018). Monitoring and treatment of chronic patients through uHealth: Keys to sustainability (efficiency) and quality of care. *Sistemas & Telemática*, 16(45), 55–83.
4. Lewis, G., Georghiou, T., & Steventon, A. (2013). Impact of 'virtual wards' on hospital use: A research study using propensity matched controls and a cost analysis. *National Institute for Health Research*.
5. NHS England. (2023). NHS virtual wards to treat thousands of patients with heart failure at home. Retrieved from <https://www.england.nhs.uk>.
6. Royal College of Paediatrics and Child Health. (2023). Paediatric virtual wards - Position statement. Retrieved from <https://www.rcpch.ac.uk>.
7. Uminski, K., Komenda, P., & Nadurak, S. (2018). Effect of post-discharge virtual wards on improving outcomes in heart failure and non-heart failure populations: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*, 13(e0196114).
8. Vindrola-Padros, C., Singh, K. E., & Sidhu, M. S. (2021). Remote home monitoring (virtual wards) for confirmed or suspected COVID-19 patients: A rapid systematic review. *EClinicalMedicine*, 37, 100965.
9. World Health Organization. (2015). World report on ageing and health. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565042>.

10. May, P., Ehrlich, H.C., Steinke, T.: ZIB Structure Prediction Pipeline: Composing a Complex Biological Workflow through Web Services. In: Nagel, W.E., Walter, W.V., Lehner, W. (eds.) Euro-Par 2006. LNCS, vol. 4128, pp. 1148–1158. Springer, Heidelberg (2006)
11. Foster, I., Kesselman, C.: The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Morgan Kaufmann, San Francisco (1999)
12. Czajkowski, K., Fitzgerald, S., Foster, I., Kesselman, C.: Grid Information Services for Distributed Resource Sharing. In: 10th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing, pp. 181–184. IEEE Press, New York (2001)
13. Foster, I., Kesselman, C., Nick, J., Tuecke, S.: The Physiology of the Grid: an Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration. Technical report, Global Grid Forum (2002)
14. National Center for Biotechnology <http://www.ncbi.nlm.nih.gov> Information,

Assessment of a Wetakecare Ecosystem for Sustainable Training and Care of Disabled and Elderly People

José Miguel Ramírez¹, Carlos de Castro¹, Enrique García¹, Isabel de Castro², Yoan Martínez-López³ and Joaquin Aguilar¹

¹ Universidad de Córdoba. Spain; p52raucj@uco.es, carlos@uco.es, egsalcines@uco.es

² IMIBIC isabel.decastro@imibic.org, Spain

³Department of Computer Sciences, Faculty of Informatics, ymlopez2022@gmail.com

Camagüey University, Camagüey City, 74650, Cuba

Abstract. This paper discusses the application of the PERSONA methodology to the design of the Wetakecare ecosystem, aimed at promoting sustainable care and active training for elderly individuals and people with disabilities. The PERSONA methodology, a pre-design approach, was used to create accurate user cases, which were refined through Usability Labs to ensure user acceptance. The Wetakecare ecosystem integrates virtual reality content for daily activities, an IPTV platform with contests and workshops, and transversal functionalities like agenda management and videoconferencing. The study highlights the benefits and limitations of applying the PERSONA methodology and Usability Labs in software design, particularly in the context of sustainable learning and care.

Keywords: Sustainable Caring, Sustainable Learning, Active Assisted Living (AAL), Activities of Daily Living (ADL), PERSONA Methodology, Usable Interface, Interactive IPTV, Digital Object, Multimodal, Exponential Technologies.

1 Introduction

Independence is the ability to act, make decisions, and choose without external intervention. The COVID-19 pandemic has accelerated the adoption of technologies in care, social health, labor, training, and leisure. We are in the midst of the Technological Revolution, characterized by the shift from analog to digital technologies, with computing and ICT driving radical changes. In healthcare, this revolution is leading to the integration of genetics, molecular biology, biomedical

engineering, artificial intelligence, robotics, and nanotechnology, aiming for ubiquitous assistance[1-5].

Activities of Daily Living (ADL) include tasks like dressing, cooking, and communicating. Managing chronic diseases and patients with multiple pathologies is a significant challenge for healthcare systems. The advancement in managing these conditions requires a paradigm shift, focusing on holistic care that centers on the patient, their environment, and socio-health needs[5-7].

The Ubiquitous City concept aims to create environments where technology adapts to users' needs. Wetakecare, a service within the Ubiquitous City, focuses on sustainable collaborative online care and training for elderly individuals and non-professional caregivers. The goal is to promote independent living through gamified activities and training in ADL tasks, while also supporting caregivers in providing quality care[7-15].

1.1 Social-health care for independent seniors

Patients with multiple chronic diseases, patients with multiple pathologies or those with long-term needs, require not only health care, but also social care before they finish developing a functional deficit that prevents them from being able to carry out their daily activities and become dependent people. These patients consume the highest volume of health resources in a country [15-19]. At the present time, the organization of health and social health care, put in the focus that the treatment and management of patients with multiple pathologies was totally inappropriate. In this way, the creation of new management models valid for the management of such citizens remains a national challenge [5]. To solve this challenge, a classification is needed to resolve the first step, which is the definition of the criteria for identifying people who is eligible for party care. Some public health systems, including the UK Health System, have attempted to apply the Kaiser model in their contexts. Others follow the prediction model, using a wide range of methods such as the Adjusted Clinical Group Prediction Model, the Hospital Reentry Risk Model (PARR 1 and PARR 2) and the Combined Prediction Model (CPM) and (ACGs-PM). Regardless of the model chosen, it is clear that specifically designated models are required to improve the management of chronic diseases and patients with multiple pathologies, since there are no practical clinical protocols, or that they have been designated to allow the proper and multidisciplinary management of them from a social-health perspective [20]. The social-health information systems would allow, on the one hand, to evaluate the criteria for inclusion in the different services of the social health portfolio and, on the other hand, an integrated social-health history. Other benefits would include the ability to assess the performance of stocks, as well as their cost benefit ratio. The step before the lowest of the dependency ladder is the non-dependency that will become dependency if no socialhealth action is performed. In this sense, programs designed to keep older people who suffer from chronic but not yet dependent pathologies active and skilled, would produce the greatest savings, just as preventive medicine produces against medical intervention [21] It is in such

programs that technologies can play a prominent role. With the aim to provide general design requirements for older users, we first should know which ones are their specific characteristics, in order to adapt the technology and the interfaces to them [22, 23].

Hearing starts to decline at around 50 years and affects a person's ability to hear higher pitched sounds as well as discern the foreground from background audio such as music or other sounds. Some hearing loss is experienced by 47% of people 61 to 80 years and 93% of people over 81 years. Moderate or severe hearing loss or profound deafness is experienced by 20% of people aged 61 - 80 and 75% of people over 80. Vision declines often start in a person's mid-40s with, for example, 86% of Australians over 40 for example require reading glasses to correct for near vision. Significant vision loss affecting everyday life is estimated to affect 16% of people 65 to 74 years, and 46% of those over 85 years in the UK.

1.2 Vision decline

Vision decline includes:

- Decreasing ability to focus on near tasks, including a computer screen.
- Changing color perception and sensitivity - less violet light is registered, making it easier to see red and yellows than blues and greens, and often making dark blue and black indistinguishable.
- Decreasing contrast sensitivity from pupil shrinkage - resulting in the need for more light and higher contrast (an 80-year-old typically has 80% less contrast sensitivity than a 20-year-old).

Motor skill decline impacts on dexterity and can result from many conditions, for example arthritis with associated joint stiffening and reduced fine motor control, and essential tremor or Parkinson's Disease with associated hand trembling, making mouse use difficult or impossible for some and affecting keyboard use. Older people with physical impairments may have difficulty clicking small links, selecting radio buttons, and using many fly-out or pull-down menus. Arthritis is estimated to affect at least 50% of people over 65; essential tremor (one of many forms of tremor) is estimated to affect up to 5% of those over 40 and up to 20% of people over 65; and Parkinson's affects around 4% of those over 85. Cognitive decline is also common, though only dementia and mild cognitive impairment are commonly reported. While Dementia (including Alzheimer's disease) is experienced by some older people (1.4% of people 65-69 years increasing to 24% of people over 85 years in the UK), forms of mild cognitive impairment (or MCI) are much more common, affecting over 20% of those over 70 years in the UK. MCI can result in, see table 1: short term memory limitations (which may result in a person forgetting the purpose of a website visit if they lose orientation on the site); concentration and distraction issues (consider the volume of information on some pages, and the multiple animated advertisements that are sometimes present).

Table 1. Impact and prevalence of physical and sensorial decline. Own elaboration from W3C

Prevalence	Impact
Audio can be difficult to discern	47% of people 61 to 80 years
Higher pitch sounds can be missed	93% of people 81+ years
Decreasing ability to focus on near tasks	16% of people 65 – 74 years
Changing color perception and sensitivity	19% of people 75 – 84 years
Decreasing contrast sensitivity	46% of people 85+ years
Difficulty using mouse or keyboard	Arthritis. At least 50% of people over 65 affected.
Difficult to click small areas	Essential tremor. Affects up to 20% of people over 65
Strain from non-ergonomic tasks	Parkinson's Disease. Approximately 4% of people over 85 years affected
Short-term memory problems	Dementia. 1.4% of people 65-69 yrs. 24% of people 85+ years
Mild cognitive impairment (MCI)	Around 20% of people over 70 years are estimated to experience MCI.

2 Methods

2.1 Design of the Study

The study employed the PERSONA methodology, a user-centered design approach, to create accurate user cases for the Wetakecare ecosystem. Usability Labs were used to refine these user cases and ensure user acceptance. The methodology involved the following steps:

- Definition of Target Users and Services: Identified the needs and characteristics of elderly individuals and caregivers.
- Concept Assessment: Evaluated the initial design concepts through focus groups and usability testing.
- Functional Assessment: Tested the functionality of the ecosystem with real users.
- Real Environment Testing: Conducted tests in real-world settings to assess usability and effectiveness.

2.2 Participant Selection

The study included elderly individuals and caregivers who were not yet dependent but had functional diversity. Participants were selected based on their ability to use technology and their willingness to participate in the study. The sample size was 346 participants, chosen from various reference centers.

2.3 Evaluation Methods

Usability testing was conducted using eye-tracking and physiological response analysis. Eye-tracking data was collected using the Tobii T60 system, while physiological responses, such as galvanic skin response (GSR) and heart rate variability (HRV), were recorded using PLUX and POLAR systems, respectively.

People use services and goods in order to cover their needs, therefore, a key element in the development of a new service or product should be built upon the needs and preferences of the end-users. To this end, WeTakeCare project will apply the UserCentered Design methodology, integrating the older persons and carers in the core of all processes, introducing their voice in the stages of requirements definition, concept and product development as well as in the different iterations of concept/ product validation. The introduction of the end-user's voice is achieved in an active (direct expressions of end-users through focus groups and questionnaires) and passive (monitoring of physiological changes in real context testing) methods. Moreover, the involvement of end-users intensifies along the project. As from the beginning of the project an advisory group of older persons, non-professional caregivers and occupational therapists (OTs) was established, providing support during the whole project. This approach guaranteed WeTakeCare system to be functional, easy to use, intuitive, motivating and accessible for the end users, covering their specific and heterogeneous problems in the performance of ADL and provision of care.

The objective of this study, as we have pointed out, is to solve the problem of how to design and adapt to people with functional diversity who are not yet dependent, within the framework of the Ubiquitous City and digital training and social services, saving the digital gap and usability difficulties. Wetakecare required PERSONAS to be modeled for the creation of a usable and transmedia software tool, which includes a catalogue of services that allows physical training and coordination by using serious games that provides strategies for the activities of daily life and is able to catalyze the dependent-carer relationship as an ally to improve adherence. The following steps were carried out at Wetakecare:

- Stage 1: Definition of target users and the services
- Stage 2: Concept assessment.
- Stage 3: Functional assessment.
- Stage 4: Real environment

3 Results

3.1 Usability Testing

The usability testing revealed that the Wetakecare ecosystem was well received by users. The interface design, which included high-contrast colors and larger icons, was particularly appreciated. However, some users found the navigation flow complex, suggesting the need for a more intuitive design.

3.2 Physiological Response Analysis

The physiological response analysis showed that tasks involving complex navigation (e.g., Task 5) resulted in higher GSR values, indicating increased stress levels. Conversely, tasks with simpler navigation (e.g., Task 1) had lower GSR values, suggesting better usability.

3.3 Eye-Tracking Analysis

The eye-tracking analysis revealed that navigation based on a tree structure reduced the number of fixations and increased saccade amplitude, indicating improved usability. This finding suggests that a hierarchical navigation system is more effective for elderly users. Following previous literature, the relation between previous variables and the usability is: Increase of HRV and Saccade amplitude are directly related to better usability assessment; while increase of GSRf and number of fixations is inversely related to worst usability assessment. Analysis of the variance (ANOVA) was done for each variable with one factor. In the case of physiological variables, the factor was the task; while in the case of eye tracking variables the factor was the type of navigation. Table 2 shows the mean and standard deviation of heart rate variability (HRV) and the phasic component of Galvanic Skin Response (GSRf) during user performance of each task. On the one hand, HRV is quite similar in most of the tasks but Tasks 3 and 5 produces higher values of HRV. On the other hand, GSRf is considerably higher for the task 5, although there is a considerable dispersion for each task, which highlights the high variability among users.

Applying an ANOVA model with a unique factor, task, there are no significant differences ($p < 0.005$) for HRV and GSRf. However, the posthoc analysis of GSRf shows significant differences among some tasks groups (Table 3). As it can be shown in Figure 1, while the values of HRV are quite similar for all tasks, it seems that task 5 provokes higher values of GSRf so it is less usable. Finally, Figure 2 shows both users cases of GSR signal. The first example shows how the GSR signal increase along the whole test, which is related with high level of stress. However, the second example shows how the user increase the level of stress during the task performance but it decreases during the rest between tasks.

In relation to eye tracking analysis, Eyetracker Tobii T60 system was used with a sampling frequency of 60 Hz. The fixation time and radius were fixed to 200 ms and 40 pixels, respectively. The extracted variables were number of fixations and saccades amplitude.

ANOVA results shows that navigation based on tree structure improves usability because it significantly reduces the number of fixations and increases the length of saccades, which is related to less processing needs and more useful navigation clues respectively. The effectiveness of traditional navigation vs tree structure navigation is highly related with the number of elements and hierarchy level. The complexity of an interface or a menu depends on the number of elements and the levels of the hierarchy (i.e. sub-sections). This is coherent with user traditional approach when the number of active elements in each screen was reduced, while navigation tree was more usable when the number of elements was higher, or it exists several levels of hierarchy.

Table 2. Mean and standard deviation of heart rate variability (HRV) and the phasic component of Galvanic Skin Response (GSRf)

Task	HRV (mean $\pm$ std)	GSRf (mean $\pm$ std)
1. Access the application: Enter the login and password, then exit	23.58 $\pm$ 17.68	-0.307 $\pm$ 0.134
2. Customize “User Profile”: Enter username and save	23.45 $\pm$ 15.00	0.002 $\pm$ [value missing]
3. Do the activity associated with 'Trouser': Navigation, exercise performance, and return home	27.92 $\pm$ 16.98	0.219 $\pm$ [value missing]
4. Do the 'Strategy Socks' activity: Navigation, watch the movie, and return home	22.36 $\pm$ 14.49	0.122 $\pm$ 0.455
5. Watch the video “Water and Lemon”: Navigation, viewing, and return home	32.71 $\pm$ 18.72	0.487 $\pm$ 0.581
6. View the document DIY “Produce a Sock Puller”: Navigation, viewing, and return home	23.29 $\pm$ 20.30	0.022 $\pm$ 0.197

Table 3. Post-hoc tests of Bonferroni of GSRf values depending on task. Only significant differences ($p < 0.05$) are shown.

Tx-Ty	Estimate Std	Error	t value	Pr(> t)	
T5-T1	0.78527	0.26689	2.942	0.00871	**
T5-T3.	0.66699	0.26689	2.499	0.02235	*

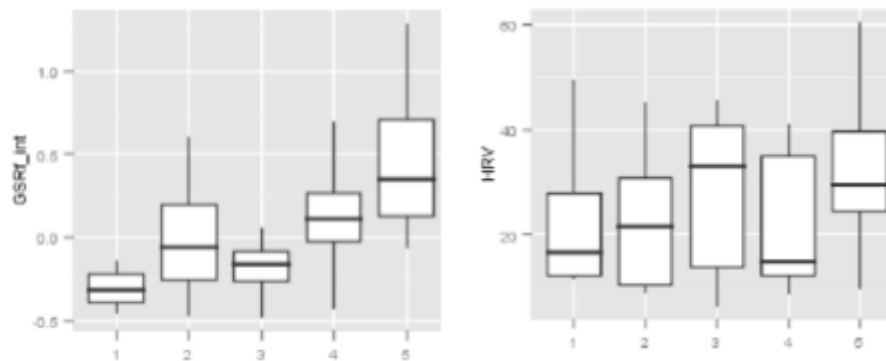


Figure 1. Boxplots of (a) GSRf and (b) HRV for the set of tasks.

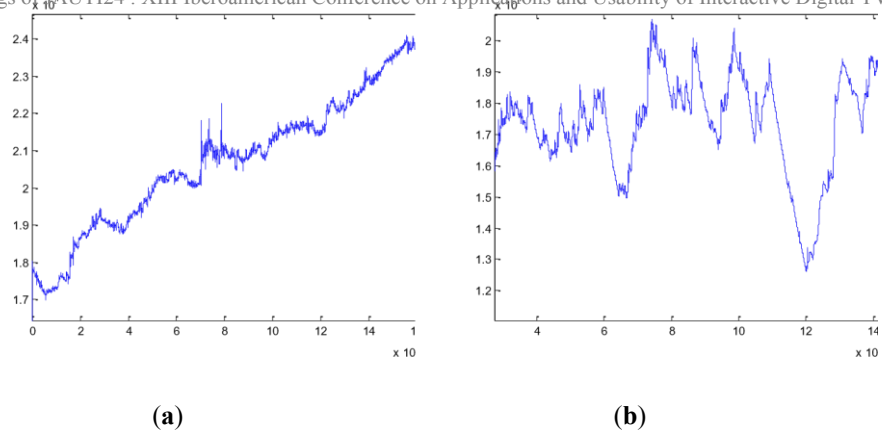


Figure 2. Example of GSR signal for both user 5, with interaction problems (left), and user 7, with less interaction problems (right).

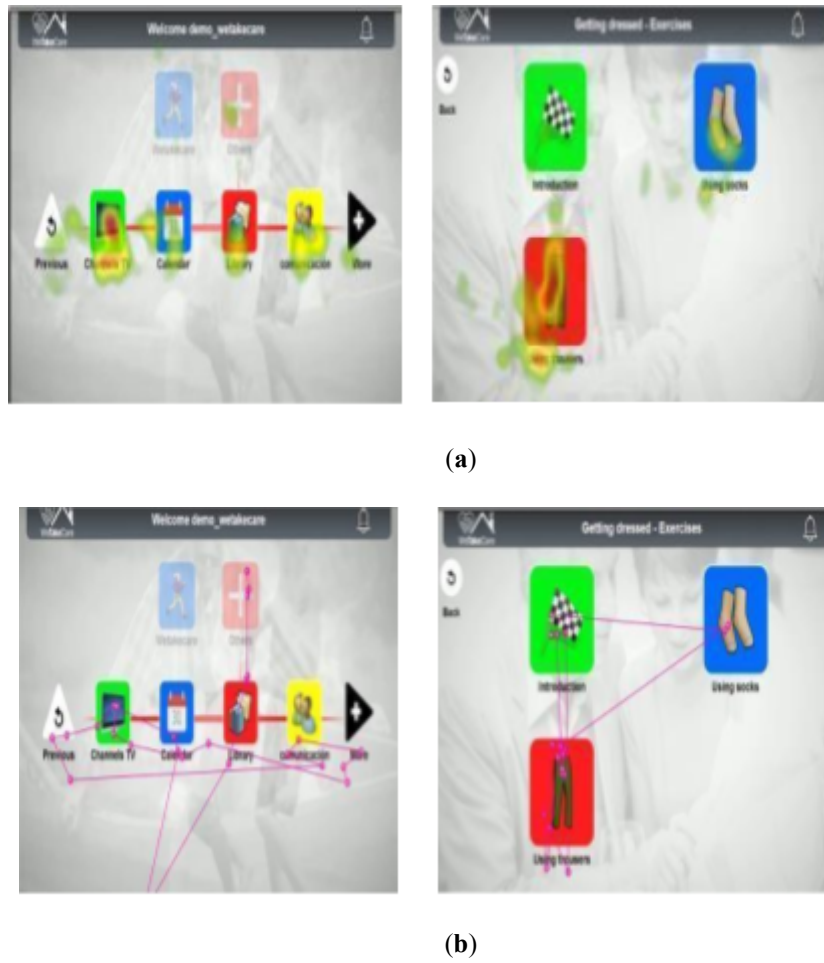


Figure 3. (a) Heat maps (mean of all users) for main menu (left) and Getting dressed category (right) and (b) scan path trajectory (example of one user) for main menu (left) and Getting dressed category (right).

Beyond qualitative analysis, ANOVA results shows that navigation based on tree structure improves usability because it significantly reduces the number of fixations and increases the length of saccades, which is related to less processing needs and more useful navigation clues respectively. These differences can be checked in Figure 4, although the significance is low ($p < 0.1$) (Table 4).

Table 4. ANOVA results of Number of fixations. Sum Sq: Sum of squares; Df: Degrees of freedom; Sig: significance. “***” $p < .001$, “**” $p < .01$, “*” $p < .05$, “.” $p < .10$

Source	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	Sig
Task	4473.	1	3.3764	0.06976	(.)
Residuals	108643	82			

Table 5. ANOVA results of Saccades amplitude. Sum Sq: Sum of squares; Df: Degrees of freedom; Sig: significance. “***” $p < .001$, “**” $p < .01$, “*” $p < .05$, “.” $p < .10$

Source	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	Sig
Task	9735	1	2.8608	0.09456	(.)
Residuals	279034	82			

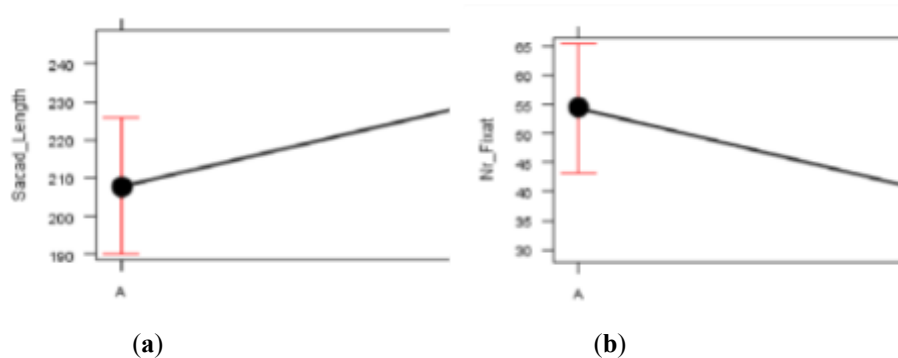


Figure 4. Marginal means of eye tracking variables, (a) saccades and (b) fixations, for traditional navigation (A) and tree structure navigation (B).

4 Discussion

4.1 Practical Implications

The Wetakecare ecosystem has significant potential to improve the quality of life for elderly individuals and caregivers. The integration of virtual reality and IPTV platforms can enhance engagement and adherence to training programs. However, the complexity of the navigation system needs to be addressed to ensure broader usability.

4.2 Limitations

The study has several limitations, including a relatively small sample size and a lack of diversity among participants. Future research should include a larger and more diverse sample to validate the findings. Additionally, the study did not explore the long-term impact of the Wetakecare ecosystem on users' independence and quality of life.

4.3 Future Research

Future research should focus on improving the usability of the Wetakecare ecosystem, particularly in terms of navigation and interface design. Longitudinal studies are needed to assess the long-term benefits of the ecosystem on users' independence and quality of life.

5. Conclusions

The Wetakecare ecosystem represents a significant advancement in the design of assistive technologies for elderly individuals and caregivers. The application of the PERSONA methodology and Usability Labs has resulted in a user-centered design that addresses the specific needs of the target users. However, further improvements are needed to enhance usability and ensure broader adoption.

References

1. Ting DSW, Carin L, Dzau V, et al. Digital technology and COVID-19. *Nature Medicine* 2020; 26: 459–461.
2. Perez C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*; 34. Epub ahead of print 2009. DOI: 10.1093/cje/bep051.
3. Lee SH, Han JH, Leem YT, et al. Towards ubiquitous city: Concept, planning, and experiences in the Republic of Korea. In: *Knowledge-Based Urban Development: Planning and Applications in the Information Era*. 2008. Epub ahead of print 2008. DOI: 10.4018/978-1-59904-720-1.ch009.
4. Alusi A, Eccles RG, Edmondson AC, et al. Sustainable Cities: Oxymoron or the Shape of the Future? *SSRN Electronic Journal*. Epub ahead of print 2012. DOI: 10.2139/ssrn.1726484.
5. Berry-Millett R, Bodenheimer TS. Care management of patients with complex health care needs. The Synthesis project Research synthesis report. Epub ahead of print 2009. DOI: 52372.
6. Boulton C, Kane RL, Brown R. Managed care of chronically ill older people: The US experience. *British Medical Journal*; 321. Epub ahead of print 2000. DOI: 10.1136/bmj.321.7267.1011.
7. Cabo Salvador J, Bellmont Lerma MÁ. *Sistemas Sanitarios y Reformas Sanitarias. Enfoque hacia la calidad. Gestión de la Calidad en las Organizaciones Sanitarias Ediciones Díaz de Santos* 2014; 1–48.
8. Cabo Salvador J, de Castro Lozano C, Cabo Muiños V, et al. El futuro de la IPTV integrada con la inteligencia Artificial en la Gestión Socio-Sanitaria Integrada. “Disease Management.” In: *Iberoamerican Conference on Applications and Usability of Interactive TV - JAUTI 2017*. 2017, pp. 115–129.
9. de Castro Lozano C, Cabo Salvador J, Ramírez Uceda J, et al. SIESTACARE: Inteligencia Ambiental aplicada a sistemas e-salud cómo tecnología de ayuda a enfermos y personas en situaciones de dependencia. *Gestión de la Calidad en las Organizaciones Sanitarias Ediciones Díaz de Santos* 2014; 953–1008.

10. Arshad P, Oxley H, Watts S, et al. Systematic approach to community risk assessment and management. *British journal of nursing* (Mark Allen Publishing); 9. Epub ahead of print 2000. DOI: 10.12968/bjon.2000.9.4.6378.
11. Boulton C, Reider L, Frey K, et al. Early effects of “guided care” on the quality of health care for multimorbid older persons: A cluster-randomized controlled trial. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*; 63. Epub ahead of print 2008. DOI: 10.1093/gerona/63.3.321.
12. Sorden SD. *The Cognitive Theory of Multimedia Learning*. Learning, Design, and Technology.
13. Mayer RE. Using multimedia for e-learning. *Journal of Computer Assisted Learning*; 33. Epub ahead of print 2017. DOI: 10.1111/jcal.12197.
14. de Castro Lozano C, Salcines EG, Sainz De Abajo B, et al. SLeSTA: From concept board to concept desktop. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2011. Epub ahead of print 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-183485_16.
15. de Castro C, García E, Ramírez JM, et al. SLeSTA: Aid Technology and e-Service Integrated System. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer Verlag, pp. 159–170.
16. Durá JV, Laparra J, Poveda R, et al. SIMPLIT: Ensuring technology usability for the elderly. *Gerontechnology*; 11. Epub ahead of print 2012. DOI: 10.4017/gt.2012.11.02.279.00.
17. Denning PJ, Metcalfe RM, Weiser M, et al. The Coming Age of Calm Technology. In: *Beyond Calculation*. 1997. Epub ahead of print 1997. DOI: 10.1007/978146120685-9_6.
18. Gorman J. *The Invisible Computer*. The Sciences; 15. Epub ahead of print 1975. DOI: 10.1002/j.2326-1951.1975.tb01433.x.
19. Mitchell SE, Laurens V, Weigel GM, et al. Care transitions from patient and caregiver perspectives. *Annals of Family Medicine*; 16. Epub ahead of print 2018. DOI: 10.1370/afm.2222.
20. Adebisin TF. *Usability and Accessibility Evaluation of the Digital Doorway*. 2011.
21. Wang F, Wang J der, Huang YX. Health expenditures spent for prevention, economic performance, and social welfare. *Health Economics Review*; 6. Epub ahead of print 2016. DOI: 10.1186/s13561-016-0119-1.
22. Gamito P. I See Me, You See Me: Inferring Cognitive and Emotional Processes from Gazing Behaviour, <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Km4xBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=I+see+me,+you+see+me:+inferring+cognitive+and+emotional+processes+from+gazing+behavior&ots=KWonONkb4h&sig=rjZ2PBELdcdQOPhCb4txPbJ-7BQ> (2014, accessed April 25, 2021).
23. de Castro C, García E, Ramírez JM, et al. Wiki Tool for Adaptive, Accesibility, Usability and Colaborative Hypermedia Courses: MediaWikiCourse. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer Verlag, pp. 16–19.

IA e ICC no Apoio a Pessoas com TDAH no Trabalho: Soluções Tecnológicas para Acessibilidade

Anthony Miguel G. de Araújo¹[0009-0006-8233-9762] and Valdecir Becker¹[0000-0002-0639-3875]

¹ Laboratory of Interaction and Media, Federal University of Paraíba, Brazil
contato@lim.ci.ufpb.br

Abstract. Este estudo investiga a aplicação de tecnologias de Inteligência Artificial (IA) e Interface Cérebro-Computador (ICC) para melhorar a acessibilidade no ambiente de trabalho de pessoas com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH). Baseado em uma revisão da literatura, a pesquisa realizou um levantamento dos principais recursos de IA e ICCs disponíveis no mercado, focados na mitigação dos sintomas do TDAH, além de explorar como a IA se integra às ICCs para amplificar suas funcionalidades. Também foi feita uma análise dos principais dispositivos de Eletroencefalograma (EEG) e Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS), métodos de medição de neurofeedback utilizados para monitorar e ajustar a atividade cerebral em tempo real.

Keywords: TDAH, Inteligência Artificial, Interface Cérebro-Computador.

1 Introdução

O Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) é uma condição neurodesenvolvimental marcada por desatenção, hiperatividade e impulsividade [Castro e Lima 2018]. Sua origem não é completamente clara, mas fatores genéticos, como a hereditariedade, assim como eventos perinatais, estão entre os principais fatores associados [Coutinho e França 2020]. O TDAH afeta de 3% a 8% das crianças e adolescentes [Polanczyk et al. 2007], com 60% dos casos persistindo na vida adulta, impactando os aspectos social, acadêmico e profissional [Castro e Lima 2018]. Apenas 20% dos adultos com TDAH recebem diagnóstico ou tratamento adequado, agravando prejuízos nessas áreas [Souza et al. 2023].

As dificuldades associadas ao TDAH se tornam mais evidentes à medida que as responsabilidades aumentam, como no contexto escolar ou ao realizar atividades não supervisionadas. Essas pessoas enfrentam desafios em funções cognitivas, como atenção, memória e planejamento, além de problemas na regulação do humor e motivação [Conitec 2022]. Tais sintomas, especialmente na vida adulta, frequentemente resultam em baixa produtividade, frustrações e exclusão do mercado de trabalho [Coutinho e França 2020]. Neste contexto, apenas tratamentos convencionais, como medicamentos e terapia comportamental, não garantem uma inclusão plena no ambiente de trabalho, uma vez que não promovem mudanças práticas nas funções e demandas profissionais. Além

disso, o preconceito e o estigma social enfrentados por pessoas com TDAH intensificam os desafios de aceitação e adaptação no mercado [Nadeau 2005]. Esse cenário exige abordagens tecnológicas inovadoras que personalizem as condições de trabalho e facilitem a inclusão [Oscarsson et al. 2022].

Nesse panorama, tecnologias como a Inteligência Artificial (IA) e as Interfaces Cérebro-Computador (ICCs), têm se destacado como soluções promissoras. Enquanto a IA oferece intervenções em tempo real que auxiliam na concentração e organização [Folaron 2023], as ICCs proporcionam suporte direto ao monitorar e modular a atividade cerebral, permitindo que ajustes sejam feitos para melhorar o desempenho cognitivo e comportamental [Merrill e Chuang 2018]. Também é válido ressaltar que a IA desempenha um papel fundamental dentro das ICCs, especialmente na análise de dados. As ICCs estão frequentemente associadas a softwares com recursos de IA, os quais auxiliam na aquisição, filtragem e processamento dos dados neuronais [Flanagan e Saink 2023]. Dessa forma, essas tecnologias atuam de maneira integrada, adaptando o ambiente de trabalho às necessidades individuais e fornecendo ferramentas que aumentam o foco e a produtividade.

Este estudo investiga como a IA e as ICCs podem ser integradas para promover a acessibilidade no ambiente de trabalho para pessoas com TDAH. A investigação foi realizada a partir do mapeamento do estado da arte dessas tecnologias, focando em suas aplicações no contexto profissional. Os avanços observados incluem o uso de IA para melhorar a organização e o foco, além do neurofeedback via ICCs para o controle da atenção e impulsividade. No entanto, a aplicabilidade prática dessas soluções para adultos no ambiente de trabalho ainda é limitada, assim como as evidências sobre sua eficácia a longo prazo.

2 Métodos

O presente estudo utiliza uma metodologia qualitativa, orientada por uma revisão narrativa da literatura, focando na análise de artigos acadêmicos, científicos e relatórios técnicos sobre a influência das tecnologias de IA e ICC no suporte a pessoas que possuem TDAH, com ênfase em como essas tecnologias podem ser utilizadas por tais indivíduos no contexto da acessibilidade ao trabalho.

As bases de dados consultadas incluíram Google Scholar, IEEE Xplore e PubMed. Os seguintes descritores foram utilizados para a seleção e leitura de artigos: “TDAH e acessibilidade”, “TDAH e Inteligência Artificial”, “TDAH na vida adulta”, “TDAH e Interfaces Cérebro Computador”, “Desafios do TDAH no ambiente profissional”, “TDAH e neurofeedback”, “ADHD in the workplace”, “Accessibility and technology with AI in ADHD”, “BCI and ADHD”, “ADHD in the work environment”, “EEG ADHD adults treatment”. A busca foi delimitada para os anos de 2017 a 2024, incluindo tanto artigos em português quanto em inglês, com o objetivo de ampliar a gama de informações e garantir uma análise abrangente do tema. Ao todo, foram analisados 44 artigos e selecionados 29 para compor o corpo da revisão. Além disso, foram utilizadas fontes de informação, como resenhas e análises de tecnologias de IA e ICC em destaque

no cenário, disponíveis em sites especializados, o que enriqueceu a pesquisa e proporcionou uma visão mais abrangente sobre o tema.

Os critérios de inclusão abrangeram estudos que abordassem diretamente a aplicação de tecnologias, como IA e ICC, no apoio a trabalhadores com TDAH. Além disso, foram incluídos artigos que analisassem o impacto dessas tecnologias na produtividade e inclusão, explicassem de forma detalhada o seu funcionamento e ressaltassem a importância da acessibilidade no ambiente de trabalho. Também foram considerados estudos que fornecessem uma compreensão aprofundada sobre o TDAH e suas implicações, especificamente na vida adulta. Durante o processo de seleção, foi notável a predominância de estudos focados no diagnóstico e tratamento de crianças com TDAH, o que tornou mais desafiador encontrar pesquisas voltadas para o contexto adulto e consequentemente de trabalho. Assim, poucos estudos com foco exclusivo em crianças foram analisados, sendo priorizadas pesquisas que abordavam a realidade de adultos com TDAH no mercado de trabalho, alinhados ao objetivo da pesquisa de explorar soluções tecnológicas para a inclusão profissional de pessoas com TDAH.

3 Aplicabilidade das Tecnologias de IA no Diagnóstico e Tratamento do TDAH

Nesta seção apresenta-se uma visão abrangente do estado atual da tecnologia referente à aplicação de Inteligência Artificial (IA) e Interfaces Cérebro-Computador (ICCs) no apoio a pessoas com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), especialmente no contexto do ambiente de trabalho. É abordada a aplicação de tecnologias de inteligência artificial no âmbito mais geral do tratamento e diagnóstico do TDAH. Também é discutida a aplicabilidade de diferentes tecnologias existentes, desde aplicativos que utilizam IA para auxiliar no controle e organização de tarefas, até ICCs que têm como objetivo monitorar e melhorar o foco e a concentração. Também serão discutidos os limites e desafios relacionados à aplicabilidade dessas tecnologias em ambientes corporativos.

3.1 IA no Diagnóstico do TDAH

A utilização da IA no diagnóstico e tratamento do TDAH tem se mostrado relevante e promissora, principalmente nas áreas que envolvem análise de dados comportamentais e biométricos. Tecnologias de IA como o ML têm sido utilizadas para a identificação de padrões, proporcionando a facilitação do diagnóstico de TDAH. Porém, a ausência de biomarcadores uniformes ainda é um desafio significativo, dificultando a criação de modelos precisos e generalizáveis [Souza et al. 2022].

3.2 IA no Tratamento do TDAH

No tratamento do TDAH, a IA possui um papel crucial no suporte de terapias cognitivas. Um tipo de aplicação notável da IA nesse âmbito está relacionado à capacidade

que ela possui de processar grandes volumes de dados, permitindo uma análise detalhada do histórico médico e comportamental dos indivíduos. Isso pode ser utilizado para desenvolver planos de tratamento específicos e personalizados para cada paciente [Dalili 2023].

As pesquisas e trabalhos realizados nessa área também evidenciam a utilização de tecnologias como neurofeedback, Rastreamento Ocular, Jogos Sérios, Realidade Virtual e Actigrafia na busca da melhora de habilidades cognitivas chave, como a atenção e a memória de trabalho, para pacientes portadores de TDAH [Souza et al. 2022]. Isso contribui para engajar os usuários dessas tecnologias na realização de atividades não apenas educativas como também cativantes e adaptativas a necessidade específica de cada usuário.

Entretanto, há uma preocupação significativa relacionada à falta de evidências robustas de longo prazo que venham a validar a eficácia contínua das intervenções baseadas em IA. A maioria das pesquisas que existem nessa área é focada em populações infantis, o que gera indagações sobre a generalização dos resultados para adultos, pois esse viés é capaz de limitar o entendimento do impacto total da utilização dessas tecnologias e a efetividade das terapias em diferentes faixas etárias e contextos de vida [Souza et al. 2022].

Aplicação Prática: O Robô Pepper.

Um exemplo de aplicação da IA nesse meio está presente em um projeto desenvolvido na Itália para apoiar crianças com TDAH utilizando um robô humanóide desenvolvido pela empresa SoftBank Robotics. Nesse estudo aplicado, o robô chamado de “Pepper” foi equipado com uma tela sensível ao toque e câmeras que monitoram e analisam em tempo real as emoções e o nível de atenção da criança durante as sessões terapêuticas. As redes neurais convolucionais usadas para o reconhecimento das emoções, alinhadas com os dados capturados durante a terapia, proporcionam a personalização das atividades terapêuticas mediante as necessidades específicas do paciente, oferecendo um acompanhamento contínuo e preciso do progresso da criança [Amato et al. 2021].

A interação das crianças com o robô auxilia no engajamento de maneira lúdica e menos estressante, o que é de grande relevância para pacientes com TDAH, que enfrentam dificuldades de manter o foco e em lidar com frustrações durante as atividades terapêuticas. O estudo preliminar destacou que as crianças participantes, ao interagirem com o robô Pepper, demonstraram maior aceitação, envolvimento e motivação durante as sessões de terapia. Segundo Amato et al. (2021), no futuro, há planos de empregar o sistema do robô Pepper para apoiar atividades no ambiente escolar. A expectativa é que, utilizando a lógica da terapia de grupo, Pepper possa ajudar crianças com TDAH a se socializarem com seus colegas de classe, o que poderia ser um componente fundamental para aumentar a inclusão entre pares em relação às crianças com TDAH, um fator de fundamental importância.

3.3 Aplicativos e *Softwares* de IA para Auxílio no TDAH no Trabalho

As ferramentas disponíveis no mercado com maior destaque voltadas para o suporte ao TDAH no contexto do trabalho são as que auxiliam no gerenciamento de tarefas, focando na produtividade do usuário [Folaron 2023]. Dentre essas ferramentas, pode-se destacar o Trello com Butler. O Trello, da empresa Atlassian, consiste em uma ferramenta de gerenciamento de projetos muito conhecida, mas com o incremento do Butler, seu recurso de automação integrado que utiliza IA, é capaz de reduzir ainda mais o trabalho manual e fornecer sugestões personalizadas. Também é válido ressaltar o Todoist e o Asana, outras ferramentas no mercado que possuem objetivos e recursos em comum com o Trello [Edge Foundation 2023].

Outra área de foco das soluções de IA para TDAH é a melhoria da comunicação e do gerenciamento de ideias. Nesse âmbito da comunicação, assistentes inteligentes de escrita que utilizam IA podem ser de grande valia para pessoas que geralmente têm mais dificuldade de se expressar, aprimorando a clareza, a consistência e o impacto de suas comunicações. Um exemplo de ferramenta nesse contexto é o Quillbot da empresa Learneo. Essa ferramenta possui funcionalidades que auxiliam na reestruturação de frases e na simplificação de textos complexos, permitindo assim a manutenção de foco e fluidez da comunicação, visto que o usuário terá uma sobrecarga cognitiva reduzida com sugestões de sinônimos e reescritas, o que contribui para a concentração no que realmente se deseja transmitir com a escrita [Quillbot 2024].

As IAs generativas, como o ChatGPT, da OpenAI, o Gemini, do Google e o Claude, da Anthropic, também podem ser grandes aliadas das pessoas com TDAH no ambiente de trabalho, especialmente no gerenciamento de ideias. Esses modelos de linguagem avançados não apenas auxiliam na elaboração e no refinamento de ideias, mas também ajudam a organizar o pensamento e a estruturar informações de forma clara e concisa. Dessa maneira, colaboram ativamente para aumentar a produtividade, estimulando a criatividade ao sugerir novas abordagens e soluções para problemas complexos, o que pode ser fundamental para superar desafios relacionados ao foco e à organização [CHADD 2019].

Também existem ferramentas cujo objetivo principal é lidar com distrações de forma eficiente e produtiva, como é o caso da ferramenta RescueTime. Tal aplicação usa algoritmos de IA para detectar períodos de picos de produtividade do usuário e sugerir ciclos adequados de pausa no trabalho. Além disso, o RescueTime pode ajudar na diminuição do ruído do mundo digital, bloqueando notificações e conteúdos que podem atrapalhar o desempenho no trabalho em momentos importantes [Edge Foundation 2023]. Nesse cenário, também são destacáveis o Brain.fm e Focus@Will, aplicativos que utilizam IA para criar e fornecer músicas que ajudam a aumentar a concentração e atenção, sendo benéfico para indivíduos com TDAH [Edge Foundation 2023].

Por fim, assistentes virtuais como Alexa, da Amazon, Siri, da Apple e Google Assistant, do Google, podem ser ferramentas úteis para pessoas com TDAH, especialmente no ambiente corporativo [CHADD 2019]. Esses assistentes ajudam no gerenciamento de compromissos e na organização do dia a dia, funcionando como uma extensão da memória de trabalho, o que pode melhorar significativamente a execução de tarefas e a produtividade. No entanto, apesar de seu potencial, há desafios persistentes

para pessoas com TDAH. Esses dispositivos exigem que os usuários memorizem comandos específicos e ajustem configurações, o que pode ser difícil para aqueles que enfrentam déficits nas funções executivas, como a dificuldade em se adaptar a novos sistemas ou manter a consistência no uso dessas ferramentas [CHADD 2019].

4 Interfaces Cérebro-Computador no Suporte ao TDAH

Entre as ICCs atualmente disponíveis no mercado, o neurofeedback tem mostrado resultados promissores em comparação com os tratamentos medicamentosos tradicionais para o TDAH. Ele oferece benefícios duradouros que podem ser comparados aos medicamentos no longo prazo, mas sem os efeitos colaterais associados às drogas [Garcia et al. 2021]. Enquanto os medicamentos tendem a perder eficácia ao longo do tempo, exigindo ajustes contínuos de dosagem, o neurofeedback pode gerar melhorias sustentadas sem a necessidade de tratamento contínuo. Isso ocorre porque essa técnica de tratamento foca na autorregulação da atividade cerebral, promovendo mudanças neurológicas duráveis e sem a dependência de substâncias farmacológicas [Garcia et al. 2021].

O EEG é considerado uma das modalidades de detecção mais viáveis para o uso por consumidores [Merrill e Chuang 2018]. Outra tecnologia popular em neurofeedback é o fNIRS, que também está se tornando cada vez mais acessível ao público [Flanagan e Saikia 2023]. Tecnologias que antes eram restritas a ambientes clínicos, como dispositivos baseados em EEG e fNIRS, estão agora surgindo em versões portáteis e vestíveis, disponíveis para uso doméstico por qualquer pessoa. Essa democratização aumenta a acessibilidade, tanto em termos de custo quanto de facilidade de uso, permitindo que indivíduos monitorem sua saúde mental e bem-estar em suas próprias casas ou ambientes de trabalho [Flanagan e Saikia 2023]. Devido a esses fatores, dispositivos relacionados têm ganhado relevância no tratamento e manejo de transtornos neurológicos, como o TDAH.

Estudos preliminares indicam que sistemas de Neurofeedback remoto, acessíveis por meio de aplicativos móveis, têm demonstrado eficácia no tratamento do TDAH, promovendo melhorias no controle da atenção, na regulação emocional e no comportamento geral [Whitehead et al. 2022]. Além disso, usuários dessas tecnologias apresentaram avanços em testes cognitivos, como maior capacidade de atenção e controle executivo, bem como uma redução dos sintomas do TDAH, conforme avaliado por escalas de saúde mental [Whitehead et al. 2022]. Esses resultados destacam o potencial dessas ferramentas remotas como uma alternativa eficaz e acessível aos tratamentos clínicos tradicionais, permitindo uma abordagem mais prática e flexível para lidar com os sintomas.

Esses dispositivos variam em termos de canais de medição, taxa de amostragem e tipos de sensores adicionais, como giroscópios e acelerômetros, com o objetivo de captar a atividade cerebral de forma precisa e confiável [Flanagan e Saikia 2023]. A Tabela 1 apresenta os dispositivos de EEG, e a Tabela 2, os de fNIRS que mais se destacam no mercado, com base em pesquisas do autor que incluíram sites de resenhas, lojas especializadas, avaliações de usuários e os sites oficiais dos dispositivos.

Table 1. Dispositivos EEG. Fonte: elaboração do autor a partir dos dados de resenhas dos dispositivos disponíveis em [MindTecStore 2024].

Dispositivo (Empresa)	Função Principal	Características Técnicas	Sensores	Aplicações
Brainlink Lite EEG Headset (MacroTellekt)	Neurofeedback para treinamento mental, foco, mindfulness, meditação.	Faixa de cabeça, Bluetooth (<10m), compatível com iOS/Android, bateria de até 180 min, 3 sensores secos.	3 eletrodos secos: EEG, GND, REF, localizados na testa.	Atenção, concentração, redução de estresse, meditação, neurofeedback.
EPOC X EEG Headset (Emotiv)	Coleta de dados cerebrais para pesquisa científica e gravação móvel.	Faixa de cabeça, Bluetooth 5.0, bateria de até 9h, eletrodos salinos recarregáveis, 9 sensores de movimento.	14 eletrodos salinos para EEG, 9 eixos de sensores de movimento para a cabeça.	Pesquisa avançada, gravação de alta qualidade fora do laboratório, flexível para diversos usos científicos.
EMOTIV Insight 2.0 (Emotiv)	Análise de atividade cerebral e respostas emocionais em tempo real.	Faixa de cabeça com 5 canais de EEG, 128 Hz de amostragem por canal, Bluetooth 5.0, bateria de 20h, sensores semi-secos.	5 sensores de EEG (AF3, AF4, T7, T8, Pz), referências CMS/DRL, sensores de movimento: acelerômetro, giroscópio, magnetômetro.	Análise de desempenho cognitivo e emocional, controle de máquinas via BCI, monitoramento cerebral de longo prazo.
Muse 2 EEG Headset (InteraXon)	Treinamento mental para mindfulness, concentração, redução de estresse e meditação.	Faixa de cabeça, 7 sensores (EEG, PPG, acelerômetro, giroscópio), Bluetooth 5.0, bateria de 5h, compatível com apps iOS/Android.	7 sensores para EEG: 2 sensores na testa, 2 sensores atrás das orelhas, 3 sensores de referência.	Meditação guiada com neurofeedback, controle de respiração, batimentos cardíacos e postura corporal.

Table 2. Dispositivos fNIRS. Fonte: elaboração do autor a partir dos dados dos dispositivos disponíveis em [BioLink Medical 2024 Mendi 2024 Obelab 2024].

Dispositivo (Empresa)	Função Principal	Carac- terísticas Téc- nicas	Sensores	Aplicações
Brite MKIII (Artinis)	Medição da oxigenação cerebral em tempo real, flexível e portátil.	Capacete de 300g, até 27 canais, optodes ajustáveis, correção de luz, Bluetooth, sensor de movimento (9 eixos).	Sensores fNIRS medem hemoglobina oxigenada, desoxigenada e total, optodes ajustáveis para áreas corticais.	Aplicações para monitoramento cerebral em ambientes variados, como idosos e crianças em movimento, uso em combinação com EEG e tDCS.
Mendi (Mendi)	Treinamento cerebral por neurofeedback, monitoramento do fluxo sanguíneo e oxigenação do córtex pré-frontal.	Faixa de cabeça, fNIRS portátil, monitora fluxo sanguíneo e oxigenação, compatível com apps (iOS/Android), bateria de 5h.	Sensores fNIRS para monitoramento do córtex pré-frontal via luz infravermelha, medição de fluxo sanguíneo e oxigenação.	Neurofeedback para foco, regulação emocional, redução de estresse, e potencial melhora no sono e atenção.
NIRSIT (OBELAB)	Sistema de imagem fNIRS portátil e leve, projetado para medições do córtex pré-frontal.	Faixa de cabeça, 204 canais, laser duplo, 24 fontes de luz, 32 detectores, varredura 32,552 Hz, mapeamento 3D, bateria de 3000mAh.	24 fontes de luz com 32 detectores PIN fotodiodos; Distâncias entre fontes de luz e detector de 1.5cm, 2.12cm, 3 cm, 3.35 cm.	Estudos cognitivos, alterações metabólicas, interfaces cérebro-computador, decodificação de estado afetivo, compatível com filtros adaptativos e algoritmos de remoção de artefatos de movimento.

5 Discussão

Os resultados provenientes da análise do estado da arte indicam que a utilização da IA e das ICCs pode representar uma solução promissora para auxiliar na inclusão de trabalhadores com TDAH. Percebe-se que a aplicação prática dessas tecnologias, especialmente através de ferramentas de IA, como aplicativos de gerenciamento de tarefas e assistentes virtuais, demonstra que já existem soluções acessíveis para enfrentar dificuldades comuns no ambiente de trabalho, como desatenção e problemas de organização. Essas tecnologias são capazes de automatizar processos que exigem atenção prolongada e organização, contribuindo diretamente para o auxílio de trabalhadores com TDAH no enfrentamento dos desafios comuns da condição, como desatenção e dificuldades de planejamento. Esses achados corroboram a literatura existente que indica que a IA pode complementar funções executivas prejudicadas, promovendo o maior foco e eficiência em tarefas diárias.

Além disso, compreende-se que as ICCs, especialmente através da utilização do neurofeedback, possuem grande potencial como alternativas terapêuticas para o controle cognitivo. Com o monitoramento da atividade cerebral em tempo real e fornecimento de feedback de forma imediata, essas tecnologias permitem a autorregulação cognitiva, atuando na melhora da capacidade de concentração e controle da impulsividade. Esses achados reforçam a aplicabilidade prática dessas tecnologias, indicando que trabalhadores com TDAH podem se beneficiar diretamente de soluções tecnológicas já disponíveis no mercado, o que pode transformar sua experiência profissional e melhorar a inclusão.

Nesse sentido, os dispositivos de neurofeedback podem ser aplicados de maneira prática no ambiente de trabalho, oferecendo suporte em diversas situações, especialmente para trabalhadores com TDAH. Por exemplo, ao monitorar a atividade cerebral durante tarefas que exigem alta concentração, esses dispositivos podem fornecer feedback imediato ao usuário, como alertas sonoros ou visuais sobre seus níveis de atenção. Com isso, o trabalhador pode realizar ajustes rápidos para melhorar o foco e a eficiência, ajudando a minimizar os efeitos da distração, característicos do TDAH. Em ambientes de trabalho com alta demanda cognitiva, o uso contínuo de Neurofeedback pode permitir que os profissionais identifiquem momentos de distração ou fadiga mental e tomem medidas corretivas, como pausas estratégicas ou mudança de tarefas, melhorando o desempenho global. Além disso, esses dispositivos podem ser integrados a plataformas de trabalho, permitindo que gestores adaptem as atividades e cronogramas de acordo com o desempenho cognitivo de cada funcionário, criando um ambiente de trabalho mais adaptado às necessidades de indivíduos com TDAH.

No entanto, é necessário reconhecer que o campo ainda enfrenta desafios significativos. Observa-se uma lacuna importante no uso dessas tecnologias voltadas para adultos com TDAH, especialmente no ambiente de trabalho. A maioria dos estudos na área concentra-se em populações infantis, limitando, dessa forma, a generalização dos resultados para contextos profissionais. O foco em crianças deve-se, em parte, ao fato de que o diagnóstico de TDAH geralmente ocorre durante a infância, o que colabora para uma maior disponibilidade de intervenções voltadas para esse grupo. Por consequência, a falta de dados mais sólidos referentes à população adulta dificulta o desenvolvimento

de tecnologias que abordem, de forma efetiva, o impacto do transtorno no contexto laboral. Além disso, seria crucial que novas pesquisas abordassem como as tecnologias de IA e ICCs podem ser adaptadas às necessidades específicas de diferentes setores de trabalho, com um olhar direcionado para a produtividade e bem-estar dos trabalhadores adultos.

Outro ponto a ser considerado é a limitação na avaliação dos efeitos de longo prazo das intervenções tecnológicas, com a maioria dos resultados focando em efeitos de curto prazo. Estudos, como os de Souza et al. (2022), evidenciam a falta de evidências robustas a longo prazo, o que torna mais desafiadora a avaliação dos impactos contínuos dessas tecnologias na vida adulta. Deduz-se que essa falta de estudos de acompanhamento a longo prazo é uma limitação que precisa ser abordada em futuras investigações, visto que os benefícios dessas tecnologias podem variar ao longo do tempo e conforme o uso prolongado no ambiente de trabalho. Outro fator que se observa é a elevada taxa de subdiagnóstico do TDAH em adultos. Estima-se que muitos adultos vivam com o transtorno sem o diagnóstico formal, o que impede a busca por tratamento adequado, como é apontado por Souza et al. (2023).

Por fim, nota-se a importância da crescente disponibilidade de dispositivos remotos de EEG e fNIRS, que representam uma oportunidade promissora para o tratamento de TDAH. Esses dispositivos, anteriormente restritos a ambientes clínicos, estão se tornando mais acessíveis devido ao desenvolvimento de versões portáteis e vestíveis. Contudo, ainda se observa que existem barreiras relacionadas ao custo elevado e à precisão dos dados em ambientes não controlados, como o local de trabalho, o que limita sua aplicação em larga escala nesse contexto. Embora esses dispositivos tenham potencial significativo, seu uso em ambientes profissionais ainda enfrenta desafios, especialmente no que diz respeito à viabilidade financeira e à confiabilidade dos dados coletados fora de ambientes controlados. Além disso, a falta de pesquisas que avaliem a eficácia desses dispositivos em contextos profissionais e a longo prazo gera incertezas quanto à sua efetividade, o que pode dificultar sua adoção mais ampla.

6 Conclusão

Este estudo explorou o uso de tecnologias de IA e ICCs para promover a inclusão de trabalhadores com TDAH no ambiente de trabalho. A pesquisa partiu do problema central de como essas ferramentas tecnológicas podem auxiliar no enfrentamento das dificuldades comuns associadas ao transtorno, como a desatenção e a falta de organização.

Com base na revisão da literatura e nos avanços tecnológicos apresentados, percebeu-se que tanto a IA quanto as ICCs oferecem soluções promissoras. A IA, por meio de assistentes virtuais e aplicativos de gerenciamento de tarefas, pode ajudar a automatizar e otimizar a produtividade no ambiente de trabalho. Já as ICCs, especialmente o neurofeedback, demonstram potencial para melhorar o controle cognitivo e a concentração, atuando diretamente nos sintomas do TDAH. Dessa forma, o presente estudo destaca a viabilidade dessas tecnologias na promoção de acessibilidade para trabalhadores adultos com TDAH, uma área ainda pouco explorada, especialmente quando

comparada ao número significativo de estudos focados no contexto educacional de crianças e adolescentes.

No entanto, limitações ainda existem, como a falta de estudos de longo prazo e a carência de pesquisas focadas na aplicação prática dessas tecnologias em diferentes setores. Para pesquisas futuras, sugere-se a avaliação mais detalhada dos impactos dessas tecnologias em contextos profissionais específicos, além de investigações que considerem a eficácia dessas ferramentas ao longo do tempo. Também seria relevante explorar como essas soluções tecnológicas podem ser adaptadas para atender a demandas personalizadas de diferentes tipos de trabalho.

Para superar tais limitações, é de fundamental importância o investimento em estudos longitudinais que acompanhem a evolução dessas tecnologias, com foco nas necessidades específicas de pessoas com TDAH. Além disso, projetos-piloto em diferentes áreas profissionais seriam essenciais para testar a adaptabilidade e eficácia dessas soluções em cenários reais. A colaboração entre pesquisadores, empresas e usuários finais com TDAH será crucial para o desenvolvimento de ferramentas mais eficientes e personalizadas, capazes de atender às demandas desse grupo no ambiente de trabalho.

References

- Amato, F., Sebillio, M., Di Gregorio, M., Tortora, G., Monaco, C., e Vitiello, G. (2021). "Socially Assistive Robotics combined with Artificial Intelligence for ADHD", In: *2021 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, DOI: 10.1109/CCNC49032.2021.9369633.
- Biolink Medical. "Brite MKIII fNIRS Portátil Multicanal." Disponível em: <https://www.biolink-medical.com.br/produto/dispositivos-nirs-fnirs/dispositivos-fnirs-imagem-cerebral/brite-mkiii-fnirs-portatil-multicanal/>. Acesso em: 23 de setembro de 2024.
- Castro, C. X. L., e Lima, R. F. (2018). "Consequências do Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) na idade adulta", *Revista Psicopedagogia*, 35(106), 61-72.
- CHADD. (2019). "Digital Assistants: The Future of ADHD support", *ADHD Weekly*, 14 de março de 2019. Disponível em: <https://chadd.org/adhd-weekly/digital-assistants-the-future-of-adhd-support/>. Acesso em: 23 de maio de 2024.
- Conitec. (2022). "Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas para o Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH)." Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde, Departamento de Gestão e Incorporação de Tecnologias e Inovações em Saúde. Brasília – DF.
- Coutinho, T., e França, G. T. (2020). "A Pessoa com TDAH no Mercado de Trabalho e o Papel do Psicopedagogo Institucional", *Caderno Intersaberes*, 9(18), 16-23.
- Dalili, S., e Zohuri, B. (2023). "Revolutionizing Treatment: AI-driven Noninvasive Approaches for ODD and ADHD", *Management Studies*, 11(4), 215-220.
- Edge Foundation. (2023). "Harnessing AI to Thrive in the Workplace with ADHD." Disponível em: <https://edgefoundation.org/harnessing-ai-to-thrive-in-the-workplace-with-adhd/>. Acesso em: 25 de maio de 2024.
- Flanagan, K., e Saikia, M. J. (2023). "Consumer-Grade Electroencephalogram and Functional Folaron, G. (2023). "Top 5 AI-Focused Productivity Tools to Support ADHD", *Leantime*, 7 de agosto de 2023. Disponível em: <https://leantime.io/top-5-ai-focused-tools-to-support-adhd/>. Acesso em: 26 de maio de 2024.
- Garcia Pimenta, M., Brown, T., Arns, M., e Enriquez-Geppert, S. (2021). "Treatment Efficacy and Clinical Effectiveness of EEG Neurofeedback as a Personalized and Multimodal Treatment in ADHD: A Critical Review", *Neuropsychiatric disease and treatment*, 637-648.

- Merrill, N., e Chuang, J. (2018,). "From Scanning Brains to Reading Minds: Talking to Engineers about Brain-Computer Interface", In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-11).
- MindTecStore. "Home - MindTecStore." Disponível em: <https://www.mindtecstore.com/Home>. Acesso em: 19 de setembro de 2024.
- Nadeau, K. G. (2005). "Career Choices and Workplace Challenges for Individuals with ADHD", *Journal of Clinical Psychology*, 61(5), 549-563.
- Oscarsson, M., Nelson, M., Rozental, A., Ginsberg, Y., Carlbring, P., e Jönsson, F. (2022). "Stress and Work-related Mental Illness Among Working Adults with ADHD: a Qualitative Study", *BMC psychiatry*, 22(1), 751.
- Polanczyk, G., De Lima, M. S., Horta, B. L., Biederman, J., e Rohde, L. A. (2007). "The Worldwide Prevalence of ADHD: a Systematic Review and Metaregression Analysis", *American journal of psychiatry*, 164(6), 942-948.
- QuillBot. (2024). "Your Ideas, Better Writing." Disponível em: <https://quillbot.com/>. Acesso em: 02 de junho de 2024.
- Souza, T. G., Silva, M. F., Alves, R. M. B., e Moura, W. S. (2022). "Tecnologias Computacionais para Tratamento e Diagnóstico do TDAH: Inferências e Interpretações sobre uma Revisão Sistemática de Literatura." In: *Revista Brasileira de Sistemas de Informação*, 15(1), 17:1–17:19.
- Souza, L., Albuquerque, F., Albuquerque, C., Pereira, S., Baraúna, Y., Silva, D., ... e Oliveira, A. (2023). "Dificuldades e Consequências do Diagnóstico Tardio de TDAH: revisão integrativa", *Revista Contemporânea*, 3(6), 5685-5701.

Experiencia de Adultos Mayores con Juegos Serios para Estimular la Memoria en TV interactiva: Un Análisis de Facilidad de Uso y Utilidad Percibida según el Modelo TAM

Ana Camacho¹[0000-0001-6689-8667], María José Abásolo² 3[0000-0003-4441-3264], Rita Oliveira⁴[0000-0001-6041-9469]

¹ Facultad de Informática de la Universidad Nacional de la Plata (UNLP), Argentina-Facultad de Ingeniería-Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), Ecuador

² Facultad de Informática de la Universidad Nacional de la Plata (UNLP), Argentina

³ CICPBA Scientific Research Commission of the Province of Buenos Aires

⁴ DigiMedia, Departamento de Comunicación y Arte, Universidad de Aveiro
ana.camachoc@info.unlp.edu.ar, mjabasolo@lidi.info.edu.ar, ritaoliveira@ua.pt

Resumen. Este estudio presenta la evaluación de Cogni-TV, una plataforma en televisión digital interactiva diseñada para adultos mayores. La investigación se centra en aspectos de experiencia de usuario y accesibilidad, empleando un muestreo aleatorio a conveniencia (n=5) en un centro gerontológico ecuatoriano. Los resultados, basados en el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM), indican una alta aceptación de la plataforma con puntuaciones superiores a 4/5 en facilidad de uso y utilidad percibida. El estudio demuestra el potencial de la televisión digital interactiva como medio para reducir la brecha digital en esta población.

Palabras clave: Televisión digital interactiva, Experiencia de usuario, Adultos mayores, Diseño centrado en el usuario, Accesibilidad digital

1 Introducción

La brecha digital representa un desafío significativo para los adultos mayores, quienes frecuentemente encuentran barreras al interactuar con sistemas informáticos convencionales. La Televisión Digital Interactiva (TVDi) emerge como una alternativa prometedora, al ser un medio familiar y accesible en la mayoría de los hogares.

Los adultos mayores enfrentan dificultades para interactuar con sistemas informáticos, ya que estas herramientas suelen no estar diseñadas para abordar las limitaciones propias del envejecimiento [1][2]. Esto puede generar resistencia al uso de nuevas tecnologías en el hogar, ya sea por la falta de adaptabilidad a sus necesidades cognitivas o porque perciben que estas tecnologías no ofrecen beneficios significativos.

En contraste, la Televisión Digital Interactiva (TVDi) se presenta como un medio accesible y familiar. Al ser un dispositivo común en los hogares, la televisión

desempeña un papel central en la transmisión de información, el entretenimiento y la educación [3][4]. La combinación de televisión tradicional con aplicaciones interactivas permite aprovechar dispositivos cotidianos para desarrollar contenido que fomente la participación activa del usuario [5].

En [6] se presenta el desarrollo de Cogni-TV, una plataforma de televisión digital interactiva diseñada específicamente para juegos serios de estimulación de memoria para adultos mayores. Este estudio se enfoca en la experiencia de usuario y la accesibilidad de la plataforma, aspectos fundamentales para garantizar la adopción tecnológica en esta población.

El contenido del artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 describe la plataforma Cogni-TV; la sección 3 presenta el estudio de caso; la sección 4 contiene los resultados; y la sección 5 expone las conclusiones y el trabajo futuro de la investigación.

2 Cogni-TV

2.1 Diseño centrado en el usuario

El desarrollo de Cogni-TV se fundamenta en el diseño centrado en el usuario, siguiendo las metodologías establecidas por Nielsen [7] para interfaces accesibles. Este enfoque prioriza las necesidades y capacidades específicas del usuario final en cada etapa del desarrollo.

Para satisfacer las necesidades y expectativas particulares de las usuarias, fue fundamental seguir pautas de diseño adaptadas que facilitaran su interacción con la tecnología. Con este enfoque [8], se creó el prototipo Cogni-TV, que integra diversos juegos serios para ofrecer una experiencia accesible y amigable. Las características clave consideradas incluyeron:

- Personalización de la temática.
- Adaptabilidad en la dificultad.
- Interfaz amigable y cómoda.
- Registro de preferencias y progreso.
- Accesibilidad a través del televisor.

Además, se incorporaron recomendaciones ampliamente aceptadas en materia de accesibilidad:

- Uso de un tamaño de letra grande y legible.
- Fuentes claras, con mayúsculas y minúsculas.
- Espaciado adecuado entre elementos de la interfaz.
- Pocos llamados a la acción en pantalla.

2.2 Arquitectura

Cogni-TV implementa una arquitectura modular basada en Android (Figura 1) que incluye:

- Web View: Muestra juegos terapéuticos y contenido interactivo en la TV con fluidez.

- Servidor Backend (PHP): Maneja la lógica de negocio y conecta la interfaz con la base de datos.
- Framework de Interfaz (Bootstrap): Adapta la interfaz a diferentes dispositivos con diseño responsivo.
- Librería de Interactividad (jQuery): Proporciona animaciones y dinamismo en los juegos.
- Base de Datos (MySQL): Guarda datos de pacientes y genera reportes para seguimiento terapéutico.

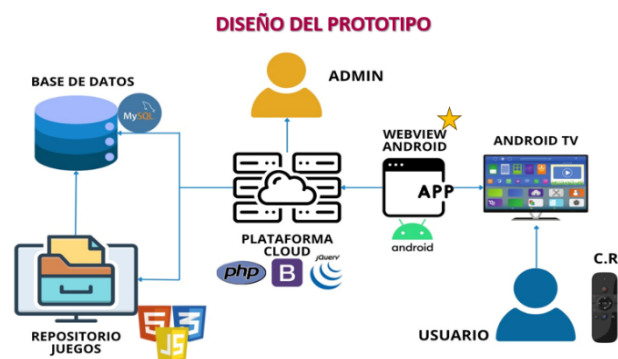


Figura 1. Componentes de la Arquitectura Cognit-TV

2.3 Juegos

Se seleccionaron los siguientes juegos para incluir en la plataforma CogniTV:

Palabra Misteriosa. Este juego está orientado a estimular la memoria verbal y la asociación semántica a través del reconocimiento progresivo de palabras. La dinámica consiste en descubrir una palabra oculta seleccionando letras sugeridas en pantalla. Cada acierto revela una parte de la palabra, mientras que los errores se registran. El juego incorpora niveles de dificultad ajustables y estimulación visual y auditiva. Su principal aporte reside en reforzar la memoria de trabajo, la recuperación léxica y la atención sostenida, funciones cognitivas que suelen mostrar deterioro en personas mayores con signos de deterioro cognitivo leve o enfermedad de Alzheimer en etapas tempranas. Al involucrar al usuario en un proceso activo de deducción lingüística, se promueve el mantenimiento de las habilidades verbales y semánticas en un entorno lúdico y accesible.

Emparejamiento de Cartas. Se presenta un conjunto de cartas dispuestas boca abajo, cada una con una imagen específica. El jugador debe girar dos cartas por turno con el objetivo de encontrar pares coincidentes, recordando las posiciones previamente reveladas. El nivel de dificultad puede ajustarse variando la cantidad de cartas en juego. Este juego estimula la memoria de corto plazo, la orientación espacial y la concentración, favoreciendo el desarrollo de estrategias cognitivas para la recuperación de información visual. Además, permite mantener la mente activa mediante tareas que requieren rapidez mental y precisión, aportando beneficios tanto a nivel cognitivo como emocional, al generar sensación de logro en los usuarios.

Banderas Locas. Diseñado para activar la memoria asociativa y la atención visual, este juego propone el reconocimiento de banderas de diferentes países junto con la selección del nombre correspondiente entre varias opciones. La actividad se apoya en estímulos visuales nítidos y pistas auditivas opcionales para facilitar el proceso de asociación. A través de este ejercicio se fortalece la memoria semántica y la flexibilidad cognitiva, al exigir que el usuario recupere conocimientos geográficos previos y los relacione con imágenes específicas. Su diseño no solo promueve el refuerzo de la memoria visual-verbal, sino que también brinda una oportunidad para la interacción con contenidos de cultura general, lo cual enriquece la experiencia del adulto mayor desde una perspectiva lúdica, educativa y cognitiva.

3 Estudio del Caso

3.1 Diseño del Estudio

Se implementó un estudio exploratorio utilizando muestreo por conveniencia, tal como señala [9]. Este enfoque, respaldado por Bernard [10], resulta apropiado para evaluaciones preliminares de sistemas interactivos donde se busca comprender en profundidad la experiencia del usuario. Como señalan otros autores [11], este método permite una evaluación profunda de la interacción usuario-sistema, especialmente en fases exploratorias. Mientras que otros autores como Yang [12] [13], respaldan su uso en estudios piloto donde la retroalimentación cualitativa detallada es prioritaria sobre la generalización estadística.

3.2 Participantes

La intervención fue en el Centro Gerontológico Dr. Arsenio de la Torre Marcillo en la ciudad de Guayaquil en Ecuador, de atención ambulatoria que trabaja con cerca de 700 adultos mayores. Dentro del Centro Gerontológico existe una clasificación de grupos, reunidos según condiciones físicas y mentales. Así, se conformaron Grupos A, B y C. El grupo B se subdividió en B1 y B2 debido a que la mayoría de los usuarios reunían características según la habilidad mental (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de Adultos Mayores.

Grupo A	Grupo B1	Grupo B2	Grupo C
Adultos mayores entre 65 a 70 años.	Adultos mayores entre 70 y 80 años.	Adultos mayores de 70 años o más.	Adultos mayores de 70 años o más.
Que permanecen activos.	Independientes físicamente.	Que presentan un leve deterioro sensitivo (visión y audición reducida).	Con dependencia física total.
Son independientes.	Con un leve deterioro cognitivo.	Menor resistencia a la actividad física, movilidad reducida.	Mayor deterioro sensitivo.
Presentan mayor iniciativa y exigencias.	Se mantienen activos a partir de iniciativas presentadas por otros.	Moderado deterioro cognitivo.	O severo deterioro cognitivo.

La evaluación para la aceptación de la plataforma Cogni-TV se realizó a través de una prueba piloto. La muestra fue seleccionada por el departamento de neuropsicología del Centro Gerontológico identificando y asignando a un conjunto de 7 usuarios del grupo B2, basado en su condición cognitiva de etapa en fase preclínica de Alzheimer de los cuales 5 firmaron la carta de consentimiento para formar parte de la investigación al momento de realizar la charla y explicar el proceso a seguir.

La distribución por género fue igualitaria, es decir, el 100% fue conformado por mujeres, quienes afirmaron no tener conocimiento de la televisión interactiva y que los juegos de memoria los realizaban de forma manual. Aunque este tamaño muestral limita la generalización estadística [14], permite una exploración detallada de la experiencia de usuario.

3.3 Instrumentos de Evaluación

Para la presente investigación se emplearon tres instrumentos principales que permitieron evaluar tanto la aceptación tecnológica como el desempeño cognitivo de las participantes, así como recoger percepciones cualitativas sobre la experiencia de uso. Las mismas se enumeran a continuación:

1. Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM)
2. Entrevistas semiestructuradas ad-hoc
3. Prueba MiniCog: Evaluación inicial y final del desempeño cognitivo

En primer lugar, se utilizó el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM), el cual fue desarrollado por Fred Davis en 1989 [15]. El interés de este modelo es conocer las percepciones de facilidad de uso y la utilidad que puede obtener el usuario al utilizar un sistema y determinar la intensidad de uso de este [16].

En segundo lugar, se aplicaron entrevistas semiestructuradas ad-hoc, diseñadas específicamente para este estudio. Estas entrevistas se realizaron en formato grupal al finalizar la etapa de intervención, con el objetivo de obtener información cualitativa complementaria respecto a la usabilidad, percepción de valor, barreras tecnológicas y sugerencias de mejora por parte de las participantes. Se formularon tres preguntas:

P1. ¿Cuáles son los aspectos más importantes de Cogni-TV?

P2. ¿Encontró alguna dificultad al usar el televisor para interactuar con Cogni-TV?

P3. ¿Puede indicar observaciones o sugerencias para mejorar Cogni-TV?

Finalmente, se utilizó la prueba MiniCog como instrumento clínico para evaluar el desempeño cognitivo de las usuarias antes y después del periodo de uso de la plataforma. Esta prueba, recomendada por el Departamento de Neuropsicología del centro gerontológico, consta de dos componentes: la evocación de tres palabras y el test del reloj, los cuales permiten valorar la memoria y la función ejecutiva, permitiendo observar posibles variaciones en el desempeño cognitivo a lo largo del estudio.

3.4 Protocolo de Intervención

La intervención tuvo una duración de ocho semanas consecutivas, durante las cuales cada participante completó dos sesiones de 20 minutos en total por semana en una sala privada del Centro Gerontológico. Durante estas ocho semanas, correspondientes a agosto y septiembre de 2024, el entrenamiento cognitivo se llevó a cabo utilizando un televisor Android de 32 pulgadas, operado mediante un control remoto tipo air mouse.

Durante cada sesión, los participantes interactuaron con los tres juegos cognitivos incluidos en la plataforma Cogni-TV, completando la secuencia completa de actividades. Al inicio de cada sesión, los usuarios iniciaban sesión con credenciales individuales y podían seleccionar el orden en que deseaban jugar. Cada juego se ejecutaba durante cinco minutos, brindándose asistencia limitada únicamente cuando era solicitada, con el fin de fomentar la interacción autónoma. A pesar de las preferencias individuales por determinados juegos, todos los participantes completaron los tres juegos en cada sesión.

4 Estudio del Caso

La Figura 2 ilustra a las usuarias interactuando con la plataforma desde un televisor, utilizando un control remoto básico. Por la funcionalidad Web View, pudieron navegar e iniciar cada juego de manera sencilla, lo que demuestra la accesibilidad de la interfaz y su adecuación a las capacidades tecnológicas del público objetivo.

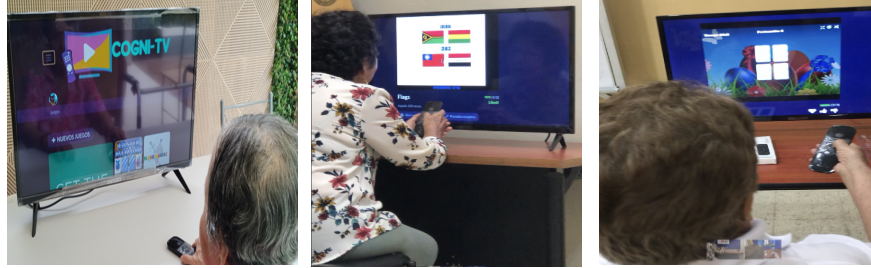


Fig. 2. Usuaris interactuant amb la Plataforma Cogni-TV

En la Tabla 2 se observan las respuestas de cada participante a preguntas clave basadas en el modelo TAM. Cada dimensión del TAM se evalúa mediante una escala Likert de 1 a 5, donde 1 es “totalmente en desacuerdo” y 5 es “totalmente de acuerdo”. Al final se incluye un promedio para cada pregunta, facilitando la interpretación general.

Estos resultados, si bien son limitados por el tamaño muestral, sugieren una alta aceptación de la plataforma. Los estudios cualitativos con muestras pequeñas [17] pueden proporcionar insights valiosos sobre la experiencia de usuario.

Tabla 2. Resultado de encuesta TAM

Dimensión	Cod.	Pregunta	U1	U2	U3	U4	U5	Promedio
Facilidad de Uso Percibida	FUP	¿Te ha resultado fácil usar la plataforma en un televisor?	5	4	5	5	5	4.8
Utilidad Percibida	UP	¿Considera que los ejercicios le han ayudado a mantener su memoria?	4	3	5	4	5	4.2
Actitud hacia el Uso	AU	¿Te has sentido satisfecho usando Cogni-TV para practicar ejercicios de memoria?	5	5	5	5	5	5
Intención de uso futura	IUF	¿Te gustaría seguir utilizando Cogni-TV en la televisión para practicar ejercicios de memoria?	5	5	5	4	5	4.8

En la tabla 3 se muestra el resultado de la prueba MiniCog. Si bien el análisis clínico no forma parte del alcance de esta investigación, el informe de la neuropsicóloga del centro señala que, de los cinco usuarios evaluados, cuatro presentaron una mejora de un punto (+1) en su rendimiento cognitivo tras la intervención. Sólo uno de los participantes (usuario 3) mantuvo su puntuación inicial, sin evidenciar cambios significativos, esto se debió a factores como la variabilidad individual en la plasticidad cognitiva por accidente doméstico. Los participantes mostraron adherencia a la actividad y una actitud positiva durante las sesiones. La mejora observada en los usuarios 1, 2, 4 y 5 indica que la intervención tiene un

impacto leve favorable en la cognición. Estos hallazgos clínicos respaldan el uso de la plataforma como herramienta de apoyo, y si el programa fuera extendido por un período mayor, es probable que se obtengan resultados aún más significativos en términos de mantenimiento o mejora de la capacidad cognitiva en esta población.

Tabla 3. Resultados de la Prueba MiniCog (Pretest vs. Postest).

ID del usuario	Edad	Género	Puntaje MiniCog (Pretest) 3 puntos	Puntaje MiniCog (Postest) 2 puntos	Diferencia
U1	75	F	4	5	+1
U2	78	F	2	3	+1
U3	73	F	3	3	0
U4	78	F	3	4	+1
U5	71	F	4	5	+1

Las respuestas obtenidas a las preguntas anteriores complementaron y reforzaron los resultados del cuestionario TAM.

R1. Los usuarios expresaron que se sienten cómodos al jugar en el televisor por la visualización de los juegos en grande.

R2. Los usuarios mencionaron la necesidad de que el control remoto que opera el televisor esté configurado para responder con un tiempo de reacción más lento. Una calibración más pausada optimiza la experiencia, especialmente para adultos mayores, quienes pueden beneficiarse de una interfaz de respuesta gradual que se adapte a sus necesidades motoras y de tiempo de reacción.

R3. Las usuarias sugieren colocar más ejercicios para seguir jugando.

5 Conclusiones

El estudio se centró en evaluar la aceptación y adopción de una plataforma de ejercicios con juegos serios basada en televisión digital interactiva, diseñada para el entorno doméstico y orientada al estímulo cognitivo en adultos mayores con la intención de apoyar al ralentizaje en la pérdida de la memoria. Su objetivo principal fue mejorar la calidad de vida de los usuarios mediante una interfaz accesible, intuitiva y familiar.

Los resultados reflejan aceptación de la tecnología, evidenciando que el uso del televisor en actividades cognitivas es una alternativa viable para su integración en la vida cotidiana de los adultos mayores. A medida que avanzaban en las sesiones, los participantes mostraron una mejora en su agilidad y destreza tecnológica, lo que resalta el potencial de la plataforma para fortalecer habilidades cognitivas y digitales.

Además, el estudio exploró el papel de la televisión como medio para reducir la brecha digital en esta población. Se confirmó que Cogni-TV es una buena alternativa como terapia no farmacológica, lo cual refuerza la viabilidad de la televisión digital interactiva como herramienta de inclusión tecnológica para adultos mayores.

En conclusión, los hallazgos sugieren que la televisión digital interactiva no solo es un canal efectivo para el entrenamiento, sino también un puente hacia la alfabetización digital en esta población con el objetivo de ayudar en el ralentizaje de la pérdida de la memoria. Como trabajo futuro, se propone evaluar la plataforma en tabletas y teléfonos móviles, permitiendo una comparación de la experiencia de usuario en distintos dispositivos y analizando su usabilidad, flexibilidad y accesibilidad en cada caso.

Referencias

1. González, M. C., Lanza, M., Arreola, F.: Bridging the digital divide: Understanding technology adoption in older adults. *Gerontechnology*, 20(3), 165-178 (2021).
2. Hwang, A., Chen, Y. J., & Lin, C. H. The impact of digital technology on the elderly: Implications for practice. *Journal of Aging & Social Policy*, 32(3), 268-287 (2020)
3. Lindeman, D. A.: The promise of technology for older adults: Ephemeral or essential? *Generations*, 45(2), 7-12 (2021) Recuperado de <https://citris-uc.org/the-promise-of-technology-for-older-adults-ephemeral-or-essential/>
4. Santana, P. C., Anido, L. E.: The Technology Acceptance of a TV Platform for the Elderly Living Alone or in Public Nursing Homes. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2017, Vol. 14, Page 617, 14(6), 617 (2017) <https://doi.org/10.3390/IJERPH14060617>
5. Chorianopoulos, K., Lekakos, G.: Introduction to Social TV: Enhancing the Shared Experience with Interactive TV. *Intl. Journal of Human-Computer Interaction*, 24(2), 113-120 (2008) <https://doi.org/10.1080/10447310701821574>
6. Camacho, A., Abasolo, M.J., Oliveira, R.: Hacia un portafolio de Juegos Serios para la Estimulación Cognitiva y de la Memoria de Personas con Alzheimer usando la Televisión Interactiva: Indagación en un Centro Gerontológico. *Proceedings of the XII Iberoamerican Conference on Applications and Usability of Interactive TV jAUTI 2023* (2024) <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/174594>.
7. Nielsen, J.: How to conduct a heuristic evaluation. *Nielsen Norman Group*, 1(1), 8 (1995)
8. Chanchí, G. G., Gómez, M., & Campo, W. M.: Propuesta de una herramienta de inspección según los atributos de usabilidad de Nielsen. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 2020(E26), 448-460 (2020) <https://investigaciones-pure.udemedellin.edu.co/es/publications/propuesta-de-una-herramienta-de-inspección-según-los-atributos-de-usabilidad-de-Nielsen>
9. Valles, M. S.: Técnicas Cualitativas de Investigación Social: Reflexión metodológica y práctica profesional. Universidad de Chile. (1999) https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay?vid=56UDC_INST:56UDC_INST&tab=Everything&docid=alma991004623909703936&lang=es&context=L&adaptor=Local%20Search%20Engine&query=sub,exact,Investigacio%CC%81n%20cualitativa,AND&mode=advanced
10. Bernard, H. R.: *Research Methods in Anthropology*. Altamirapress (2006)
11. Etikan, I., Abubakar Musa, S., Sunusi Alkassim, R.: Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1-4 (2016) <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
12. Yang, J.: Diseño de Comunicación Visual para Aplicaciones Móviles de Aprendizaje: Usabilidad de la Interfaz de Usuario y el Engagement con el Aprendizaje Visual *Communication Design for Mobile Learning Apps: User Interface Usability and Learning Engagement New Lang. | Media Education Research Journal | ISSN Media Education Research Journal n, 78* (2024) <https://doi.org/10.58262/V32178.19>

13. Ezquerro, M., Sáiz, O. : Estudio de intervención desde terapia ocupacional mediante las nuevas tecnologías en usuarios con discapacidad intelectual. *Revista Terapia Ocupacional Galicia*, 18(1), 12–18 (2021) <https://revistatog.es/ojs/index.php/tog/article/view/104>
14. Nielsen, J.: Why you only need to test with 5 users. Nielsen Norman Group. online:< [https://www. nngroup. com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/](https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/)>, ISSN, 0737-8939 (2000)
15. Cadena, M., Carvajal, B., Cáceres, L., Ortiz, J.: Percepción y uso de las tecnologías de la información y comunicación por parte de la población adulta mayor Resumen. *Revista ACGG*, 32, 27–38 (2018)
16. Puello, P., Del Campo, V. D., Scholborgh, F. J.: Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) en el Laboratorio de Física III basado en internet de las cosas en el Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena, Colombia. *Revista ESPACIOS*, 41(37) (2020)
17. Cienfuegos, M. de los A., García, P., González, C.: Lo cuantitativo y cualitativo desde un tratamiento estadístico. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*, 11(21), [2] 18-49 (2022) <https://doi.org/10.23913/ricsh.v11i21.275>

Televisión Digital Interactiva para mejorar la marcha en adultos mayores: Estudio de Intervención y Validación

María Magdalena Rosado¹⁻²⁻³[0000-0003-2519-4780], María José Abásolo¹⁻⁴[0000-0003-4441-3264],
Telmo Silva⁵[0000-0001-9383-7659], Stalin Jurado²[0000-0002-1163-1030], José Antonio Valle Flores²[
0000-0002-9173-9526], Sheyla Villacres²[0000-0003-2306-8385]

¹Facultad de Informática Universidad Nacional de la Plata (UNLP), Argentina

²Facultad de Ciencias de la Salud Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil, Ecuador

³Facultad Ciencias Administrativas Universidad de Guayaquil, Ecuador

⁴CICPBA Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos
Aires, Argentina

⁵Universidad de Aveiro, Portugal

maria.rosadoa@info.unlp.edu.ar, mjabasolo@lidi.info.unlp.edu.ar,
tsilva@ua.pt, Stalin.jurado@cu.ucsg.edu.ec,
jose.valle@cu.ucsg.edu.ec, sheyla.villacres@cu.ucsg.edu.ec

Resumen. Se describe la implementación de un programa de ejercicios físicos mediante tecnología Smart TV y la plataforma Plex, adaptado a las necesidades de una población de adultos mayores en Ecuador. La propuesta planteó una intervención no presencial, supervisada por fisioterapeutas, que facilita la adherencia a los ejercicios orientados a mejorar la movilidad y reducir el riesgo de caídas. El programa incluyó videos de ejercicios físicos coordinativos y condicionales. La efectividad fue evaluada con herramientas funcionales como la escala de equilibrio Tinetti y el test Timed Up and Go, mientras que el Test Self-Assessment Manikin (SAM) permitió analizar el impacto emocional y cognitivo en los participantes. Para validar la propuesta, se aplicó el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) y se realizaron pruebas con expertos mediante el método Delphi, consolidando la intervención como una herramienta innovadora y eficaz en la promoción de la salud y la prevención de caídas en adultos mayores

Palabras claves: Plex – Smart TV - Ejercicios – Evaluación Geriátrica- Calidad de Vida

1 Introducción

Aproximadamente un tercio de las personas mayores de 65 años que se consideran independientes y autónomas sufre al menos una caída al año [1]. Dado el impacto social de este problema, se han estudiado diversos métodos de intervención para prevenirlo [2]. Actualmente, existe una creciente demanda de programas accesibles y

de intervenciones no presenciales, impulsada por el avance de las soluciones de salud digital [3]. Esto subraya la necesidad de desarrollar aplicaciones que brinden servicios de apoyo domiciliario para el cuidado de adultos mayores que optan por envejecer en sus hogares [4].

Investigaciones previas han demostrado que las personas mayores prefieren realizar ejercicios en casa y que aquellos que incluyen actividades de equilibrio, fortalecimiento muscular y coordinación se asocian con una mayor adherencia [5]. En este contexto, la rehabilitación domiciliar asistida por medios audiovisuales presenta múltiples beneficios. Por un lado, promueve la participación de los pacientes [6]; por otro, reduce costos, mejora la eficiencia y facilita el acceso equitativo a la atención, especialmente para adultos mayores con enfermedades crónicas que viven en áreas remotas o tienen movilidad limitada [7]. Además, esta modalidad permite personalizar los planes de rehabilitación y garantizar la continuidad del cuidado. Un enfoque personalizado de rehabilitación puede promover mejoras significativas en el equilibrio, la marcha y la movilidad en adultos mayores, reduciendo así el riesgo de caídas [8]. Además, estudios como el de [9] han reportado una alta satisfacción y mejoras en el bienestar emocional en adultos mayores que participaron en programas de ejercicios en línea.

En este artículo, la Sección 2 describe la propuesta de un programa de rehabilitación de adultos mayores mediante videos y Smart TV. La Sección 3 describe el estudio de caso. Los resultados de esta intervención se presentan en la Sección 4. Finalmente, en la Sección 5 se resumen las conclusiones.

2 Programa de rehabilitación mediante videos y Smart TV

El sistema de rehabilitación propuesto utiliza videos de ejercicios físicos para mejorar la marcha y reducir el riesgo de caídas en adultos mayores. Para ello, se emplea la plataforma Plex junto con un NAS (*Network Attached Storage*), que es un dispositivo de almacenamiento en red que centraliza los videos de ejercicios, permitiendo que la plataforma Plex los organice y los distribuya a los Smart TV de los usuarios.

Esta sección se divide en dos partes:

2.1 Infraestructura tecnológica con Smart TV y Plex

La Figura 1 ilustra la arquitectura del sistema, donde un servidor Plex y un NAS trabajan en conjunto para garantizar que los usuarios puedan acceder a los videos de ejercicios desde cualquier Smart TV conectado a la red. El Programa Digital, representado en la figura, se refiere a la infraestructura tecnológica que permite almacenar, organizar y distribuir los videos de ejercicios de manera accesible y personalizada.

En este esquema, un administrador es responsable de gestionar la plataforma, asegurando que el contenido esté actualizado y adaptado a las necesidades de cada usuario. Para ello, se basa en evaluaciones realizadas por fisioterapeutas, quienes determinan el nivel de riesgo de caída y los ejercicios más adecuados. Con esta información, el administrador organiza los videos en la plataforma Plex, permitiendo que cada usuario acceda a un programa de ejercicios personalizado desde su Smart TV.

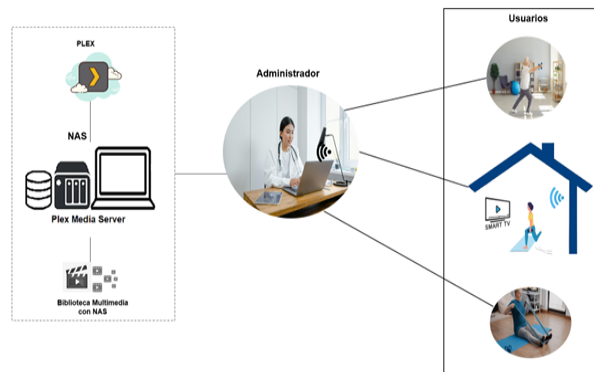


Fig 1. Programa Digital con Tecnología Smart TV y Plex

2.2 Biblioteca de ejercicios para reducir el riesgo de caídas

El sistema cuenta con una biblioteca de 27 videos de ejercicios en alta definición (1920x1080 píxeles, formato MP4), diseñados en colaboración con docentes fisioterapeutas de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Estos videos incluyen ejercicios progresivos enfocados en mejorar la movilidad, la fuerza muscular y el equilibrio, adaptándose a las necesidades individuales de los adultos mayores. Cada usuario accede a un conjunto de ejercicios específico según su evaluación previa, asegurando un programa adecuado a su condición física y reduciendo el riesgo de caídas.

3 Estudio de caso

3.1 Diseño de estudio de caso

Se realizó un estudio de tipo longitudinal, descriptivo y observacional.

El programa de intervención, desarrollado entre junio y noviembre de 2023 con una duración de 24 semanas, inició con 16 adultos mayores independientes, con edades comprendidas entre los 65 y 77 años, pertenecientes al Centro Gerontológico Dr. Arsenio de la Torre Marcillo. Sin embargo, durante ese mismo año, Ecuador enfrentó una crisis energética ocasionada por una combinación de factores como la sequía severa, el escaso mantenimiento de la infraestructura eléctrica y el aumento en la demanda de energía, lo cual provocó cortes recurrentes de suministro eléctrico. Esta situación impidió que varios participantes accedieran a los dispositivos necesarios para continuar con las sesiones, lo que derivó en su deserción. Como resultado, únicamente 10 adultos mayores completaron la investigación.

Esta contingencia, derivada de factores externos no controlables, influyó negativamente en la continuidad del programa. Si bien la propuesta fue diseñada para facilitar la adherencia mediante el uso de tecnología doméstica, las limitaciones logísticas derivadas de los cortes eléctricos afectaron la participación continua. Esta

situación, junto al reducido tamaño de la muestra ($n = 10$), restringe la generalización de los resultados y se reconoce como una debilidad metodológica del presente trabajo.

Para validar la propuesta, se consultó a 30 profesionales de la salud, de los cuales 19 expertos en geriatría y rehabilitación aceptaron participar. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado, y el estudio se llevó a cabo conforme a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki [10]. Asimismo, el protocolo fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, garantizando el cumplimiento de las normativas éticas vigentes.

3.2 Instrumentos

Para evaluar la movilidad y el equilibrio de los adultos mayores, se emplearon la escala de Tinetti, que consta de dos dimensiones: equilibrio y marcha [11], y la *prueba Timed Up And Go* (TUP) para registrar la velocidad de la marcha [12]. Por otro lado, para valorar la respuesta emocional ante la práctica de ejercicios a través de televisión digital interactiva, se utilizó el cuestionario *Self-Assessment Manikin* (SAM), el cual evalúa las emociones mediante pictogramas humanoides [13]. Para seleccionar a los expertos se realizó una validación mediante el método Delphi [14], y finalmente la aceptación y utilidad de esta propuesta por expertos se evaluó mediante el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM), que analiza los factores que influyen en la intención de uso de una tecnología [15].

3.3 Protocolo de Intervención y Validación

La intervención consistió en un programa de ejercicios físicos condicionales enfocados en el desarrollo de fuerza, resistencia, velocidad y flexibilidad, fundamentales para mantener la independencia y ejercicios coordinativos para trabajar la coordinación, el equilibrio para prevenir caídas y garantizar una movilidad segura en los adultos mayores.

El programa tuvo una duración de 29 sesiones, realizadas dos veces por semana, con una duración de 60 minutos por sesión, incluyendo intervalos de descanso de 2 minutos. Cada sesión incluyó la reproducción de 9 videos seleccionados según el riesgo de caída por participante. Durante las primeras 15 sesiones, un fisioterapeuta estuvo presente para garantizar la correcta ejecución de los ejercicios, realizar ajustes y supervisar el desempeño de los sujetos. Además, el investigador principal estuvo presente durante las sesiones y se encargó de grabar el proceso de intervención, con el propósito de documentar y garantizar la fidelidad en la implementación del programa.

Para evaluar la efectividad de la intervención, se realizaron mediciones supervisadas por fisioterapeutas en tres momentos clave: inicio (T1), mitad (T2) y final (T3). Se emplearon las escalas Tinetti y TUG para valorar el equilibrio y la marcha, además del SAM para conocer la experiencia de los participantes con el programa. En este contexto la dimensión de Valencia (Placer o Agrado) indica en qué medida los participantes percibieron la aplicación como agradable de usar, la dimensión de Arousal (Activación) mide el nivel de excitación o estimulación generado durante su uso, y la dimensión de Dominancia (Control) refleja la sensación de control que los participantes tuvieron sobre la interacción con la aplicación.

En cuanto a la validación de la propuesta del estudio, de los 19 expertos inicialmente seleccionados, solo 11 alcanzaron un Coeficiente de Competencia Experta (K) clasificado como alto (igual o superior a 0.8), cumpliendo los criterios establecidos por el método Delphi para su inclusión en la aplicación del cuestionario TAM.

4 Resultados

Los resultados de las evaluaciones aplicadas en el estudio fueron almacenados en un archivo de Excel. Posteriormente, estos datos fueron analizados mediante el software estadístico SPSS versión 22.0, realizando comparaciones entre las mediciones en T1, T2 y T3 para evaluar los cambios durante el tiempo que se desarrolló el programa de intervención. Se llevó a cabo un análisis descriptivo de los datos y se evaluó su normalidad. Para los datos con distribución normal, se empleó la prueba t de Student, mientras que para los datos no paramétricos se utilizó la prueba de Wilcoxon. En todos los casos, se consideró un valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo.

La muestra de investigación estuvo constituida por 4 varones y 6 mujeres que representaron el 40% y 60% respectivamente. La edad de los investigados comprendió entre los 65 a 77 años con una media de $73,3 \pm 3,62$.

En la Tabla 1 los resultados de la Escala de Tinetti mostraron un aumento significativo en los puntajes entre T1 y T2 ($2,40 \pm 2,06$, $p 0,011$) y entre T1 y T3 ($3,80 \pm 2,65$, $p 0,007$). De igual manera, la prueba TUG mostró una disminución significativa en los tiempos desde T1 a T2 ($1,14 \pm 0,63$, $p < 0,001$) y desde T1 a T3 ($2,17 \pm 0,93$, $p < 0,001$).

Tabla 1. Comparación de las herramientas funcionales: media $\pm$ DE y valor-P

Herramientas Funcionales	(T1)-(T2)		(T1)-(T3)		(T2)-(T3)	
	MEDIA $\pm$ DE	*Valor-p	MEDIA $\pm$ DE	*Valor-p	MEDIA $\pm$ DE	*Valor-p
Escala de Tinetti	2,40 $\pm$ 2,06	0,011	3,80 $\pm$ 2,65	0,007	1,40 $\pm$,189	0,059
Times Up and Go	1,14 $\pm$ 0,63	0,000	2,17 $\pm$ 0,93	0,000	1,02 $\pm$ 0,63	0,001

En relación al nivel de satisfacción del uso de la televisión digital interactiva, los resultados del Test SAM (Tabla 2) mostraron un aumento significativo en la dimensión de Activación entre T1 y T3 ($1,70 \pm 1,25$, $p 0,011$), indicando que con el tiempo los participantes se sintieron más estimulados al interactuar con el programa. De manera similar, se observó un aumento significativo en la dimensión de Control entre T1 y T3 ($1,20 \pm 1,22$, $p 0,016$), reflejando una mayor percepción de dominio sobre el uso de la plataforma. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la dimensión de Agrado, lo que sugiere que la satisfacción general con el programa se mantuvo sin cambios entre las evaluaciones.

El TAM (Figura 2) evidencia una valoración muy positiva de la tecnología. Con una puntuación promedio de 4,98 en utilidad, 4,91 en facilidad de uso y 4,70 en intención de uso, los resultados indican una clara aceptación por parte de los participantes expertos.

Tabla 2. Dimensiones del Test SAM

Dimensiones	(T1)-(T2)		(T1)-(T3)		(T2)-(T3)	
	MEDIA± DE	*Valor-p	MEDIA± DE	*Valor-p	MEDIA± DE	*Valor-p
Agrado	1,20±1,75	0,057	1,40±1,64	0,026	0,20±0,63	0,317
Activación	0,30±1,56	0,564	1,70±1,25	0,011	1,40±0,96	0,010
Control	0,60±0,84	0,063	1,20±1,22	0,016	0,60±0,84	0,063

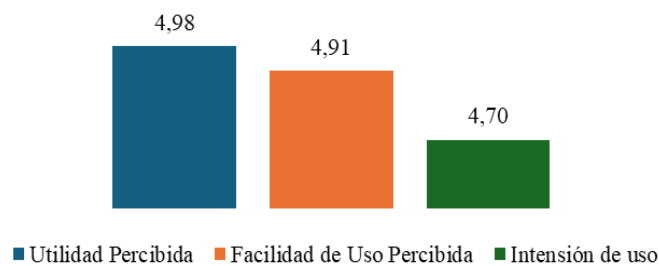


Fig. 2 Resultados del TAM

5 Conclusiones

Este estudio presentó un programa de rehabilitación domiciliaria para adultos mayores, empleando vídeos y tecnología mediante Smart TV y la plataforma Plex. Los resultados mostraron mejoras significativas en marcha, equilibrio y movilidad. El cuestionario SAM se presentó en su versión clásica y los adultos mayores comprendieron sin dificultad la escala y los dibujos, lo que permitió obtener mediciones precisas sobre su experiencia con el programa. En este sentido, la activación emocional emergió como un factor clave, evidenciando progresos consistentes en la percepción de control y motivación a lo largo de la intervención. Los expertos evaluaron positivamente el uso de esta tecnología, destacando su eficacia y aceptación como herramienta para facilitar la continuidad del tratamiento. Los hallazgos subrayan la efectividad de las actividades físicas apoyadas en recursos audiovisuales, al tiempo que enfatizan la necesidad de intervenciones prolongadas para sostener los beneficios. En conjunto, estos resultados destacan la relevancia de programas personalizados como el propuesto, que no solo contribuyen a la mejora de capacidades físicas, sino que también promueven el bienestar integral de los adultos mayores. Asimismo, la reutilización de dispositivos cotidianos, como Smart TV y aplicaciones de streaming como Plex, demuestra su potencial para transformar la rehabilitación funcional en una experiencia más accesible, personalizada y eficiente. Al integrar la terapia en el entorno del hogar, se optimizan los recursos sanitarios y se fomenta el empoderamiento de los pacientes, convirtiéndolos en agentes activos de su propio proceso de recuperación.

Bibliografía

1. Sotomayor, Y. & Reyes, D. (2023). Vulnerabilidad del adulto mayor con lesión cervical traumática. *Medisur* 21, 21–32.
2. Kim, S. Y. et al. (2018). Effects of tele-rehabilitation mental practice on balancing performance of patients with hemiplegia. *Biomed Hum Kinet* 10, 95–100.
3. Silva-Moreno, A. A., Alcala-Silva, J. M., Torres-Frias, A., Ramirez-Gómez, X. S. & Rivera-Covarrubias, B. (2023). Virtualidad para la salud del adulto mayor. *Jóvenes en la ciencia* 21, 1–8.
4. Rosado, M., Ábasolo- Guerrero, M. J. & Silva, T. (2022). Televisores inteligentes al cuidado de la salud en adultos mayores. in *Proceedings of X Ibero-American Conference on Applications and Usability of TVDI jAUTI2021*.
5. Nyman, S. R. & Victor, C. R. (2012). Older people's participation in and engagement with falls prevention interventions in community settings: An augment to the cochrane systematic review. *Age and Ageing* 41, 16–23.
6. Alcala-Silva, J. M. et al. (2024). Uso de tecnologías digitales para el cuidado de la salud de los adultos mayores. *Jóvenes en la ciencia* 28, 1–4.
7. Mani, S., Sharma, S., Omar, B., Paungmali, A. & Joseph, L. (2017). Validity and reliability of Internet-based physiotherapy assessment for musculoskeletal disorders: a systematic review. *J Telemed Telecare* 23, 379–391.
8. Garcia, N. Y. G., Contreras, M. R. & Marín, C. M. (2023). Heuristics for the analysis of emotions using encephalographic signals. in *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*.
9. Ontivero, M. (2018). Rehabilitación del adulto mayor y estilo de vida saludable. *Revista Salud Vive* 1, 28–37.
10. World Medical Association (2024). Declaration of Helsinki of the World Medical Association. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Anales Sis San Navarra*, 24(2), 209–212.
11. Carballo, A., Gómez, J., Casado, I., Ordás, B. & Fernández, D. (2018). Estudio de prevalencia y perfil de caídas en ancianos institucionalizados. *Gerokomos* 29, 110–116.
12. Monzón, A. M. (2022). Evaluación del test Timed Up and Go en adultos mayores. *Argentinian Journal of Respiratory & Physical Therapy* 4, 55–59.
13. Bradley, M. M. & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *I. B&w Thu. & Exp. Psvchrar* 25, 49–59.
14. Varela, R. M., Díaz, B. L. & García, D. R. (2012). Descripción y usos de la técnica Delphi. *Investigación en Educación Médica* 1, 90–95.
15. Roig-Vila, R., Rojas-Viteri, J., & Lascano-Herrera, N. A. (2022). Análisis del uso de Moodle desde la perspectiva del modelo TAM en tiempos de pandemia. *Revista Interuniversitaria de Investigación En Tecnología Educativa*, 95–112.

Usability Review of a Mobile Platform for Sharing and Visualizing Audiovisual Collective Memories

Edgar Quintero ^[0009-0001-0305-5918], Ana Velhinho ^[0000-0001-9978-8317],
Luis Pedro ^[0000-0003-1763-8433] and Pedro Almeida ^[0000-0001-5878-3317]

Digimedia, Department of Communication and Art, University of Aveiro, Aveiro, Portugal
{edgar.quintero, ana.velhinho, lpedro, almeida}@ua.pt

Abstract. This paper presents a usability evaluation of a medium-fidelity prototype for a platform designed to aggregate shared memories (including audiovisual contributions) of cultural heritage through storytelling, supported by Artificial Intelligence (AI) tools. The goal was to assess the prototype's compliance with usability principles and heuristics to identify and address issues before conducting field trials with end users. The study was divided into three phases. The first phase involved benchmarking prototyping and testing tools for designing and evaluating digital products, focusing on their features and analytics capabilities. The second phase focused on optimizing the medium-fidelity prototype, developed in Figma, according to Design and Usability principles and abiding by Google Material Design guidelines. In the third phase, the Figma prototype was migrated to the Quant-UX tool for a heuristic evaluation conducted with five experts in a laboratory setting. Based on this, the experts provided recommendations for enhancing both visual and textual communication regarding the platform structure and some interactions.

Keywords: Human-Computer Interaction; Usability principles; Heuristic-Based Evaluation; Expert Review; Prototyping Tools; Mobile Platform.

1 Introduction

The current society is defined by constant digital interaction and sharing of personal experiences, particularly on social media. Mobile phones have become essential to our need for instant, continuous connection. Unlike computers, they seamlessly integrate into our daily tasks, enabling a fluid and uninterrupted user experience [1].

In this context, the Polariscope R&D project emerges as an innovative solution, proposing a collaborative content-sharing platform based on collective memories enhanced by artificial intelligence (AI) [2]. Its objective is to connect citizens and institutions to enrich and preserve these records for future generations [3]. As a mobile platform, Polariscope leverages the locative aspect of recording real-time experiences related to cultural heritage and events, enabling users to capture the emotions of moments as they unfold. When shared on the Polariscope platform, these multimedia records about cultural celebrations and thematic events can be incorporated into stories that combine multiple perspectives of the experience. Thus,

this mobile platform aims to foster remembrance while encouraging ongoing enrichment through the continuous sharing of content driven by social dynamics.

A mobile-first approach must account for the unique characteristics of mobile devices, such as smaller screens and touch-based interactions. These factors directly influence interface prototyping and design, ensuring an optimized user experience for mobile contexts [4]. Consequently, adhering to usability standards is vital for promoting high-quality, effective user interfaces that guarantee satisfying user experiences. When developing a mobile solution, following these standards helps ensure that the final product is intuitive, efficient, and accessible, ultimately increasing user satisfaction and market acceptance. Conducting expert and user testing throughout the prototyping process is also essential to identify and solve interaction issues, ensuring a positive experience for the target audience [5].

The study presented in this article focuses on optimizing a prototype and conducting a heuristic review with experts to identify key usability issues before field evaluation with end users. In this context, the study draws on the four principles of human-centered design [6] – *people-centered; solving the right problem; everything is a system; small and simple interventions* – as well as validated standards for the development of user-centred interactive systems, namely ISO 9241-210 [7]. Furthermore, the foundational 10 Nielsen heuristics [8] were applied, complemented by industry-specific guidelines that undergo continuous improvement, particularly those tailored for mobile devices, such as Google’s Material Design system¹.

The document is structured into four sections: the first provides context for the research domain; the second outlines the methodology, detailing each phase; the third presents the results; and the fourth concludes with a summary of the study and future work.

2 Methodology

2.1 Phase 1: State of the Art of Prototyping and Evaluation Frameworks

The first phase involved a review of the state of the art in frameworks for medium-fidelity prototyping and prototype evaluation of mobile applications. The objective was to identify the tools to be adopted in the prototyping and expert evaluation phases of the Polariscope platform prototype. The sample was based on research using the following keywords: prototyping, design, mockups, interfaces, evaluation, collaborative work, usability, and heatmaps. The identified platforms were ranked according to their popularity and number of users, prioritizing those with robust prototyping and evaluation features. This selection process resulted in a list of 12 platforms. The selection criteria for the sample focused on tools that support both prototyping and evaluation of mobile application prototypes. For comparative analysis, a detailed investigation of each framework was conducted by consulting and examining online documentation provided by developers and user feedback. The

¹ Google Material Design: <https://m3.material.io/>

study evaluated key aspects such as robustness, flexibility, ease of use, compatibility with mobile devices, and the ability to generate usability metrics, ensuring a consistent and relevant comparison (see Figure 1).

Feature	Lyssna	Quant UX	Optimal Workshop	ProtoPie	Sketch	Balsamiq	Axure	Userlytics	Crazyegg	Lookback	Penpot	Figma
Unlimited prototypes and tests	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	✓	✓
Visual Prototype Editor	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓
Design Systems	x	x	x	x	✓	x	✓	x	x	x	✓	✓
Unlimited teams	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Heat maps	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x
Screen recordings	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	x	x
Task analysis	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x
Wireframe templates	x	✓	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓
iOS templates	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	✓
Material Design templates	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓
Bootstrap templates	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓
Click Heat Maps	✓	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x
Mouse Heat Maps	✓	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x
User Journeys	✓	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	✓
Font import	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓
Public sharing	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Comments	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓
Team collaboration	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supports MP4 files	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	x	x
Operating system	Web-based	Web-based	Web-based	MacOS, Windows, Web-based, Desktop	macOS Desktop	MacOS, Windows Desktop	MacOS, Windows Desktop	Web-based	Web-based	Web-based	Web-based	Web-based, Desktop
Pricing plans	Paid	Free	Freemium	Paid	Paid	Paid	Paid	Paid	Paid	Paid	Free	Freemium

Fig. 1. Comparison of features of prototyping and evaluation frameworks.

Based on the comparative analysis presented in Figure 1, two options were highlighted as the most suitable: *Figma*² for prototyping and *Quant UX*³ for evaluation, as both tools offer specialized and advanced features for their respective stages of prototype development.

2.2 Phase 2: Optimization of prototype components according to usability guidelines

The second phase focused on optimizing the medium-fidelity prototype of the Polariscope platform developed in *Figma*. Using the *Material Design* guidelines – specifically the principles of Usability (Visibility, Feedback, Control, and Efficiency) – a detailed review of the prototype was conducted to identify necessary adjustments. Each page of the interactive prototype, intended for expert evaluation, was analyzed individually to assess the compliance of interface components with the predefined

² Figma: <https://www.figma.com/>

³ Quant UX: <https://www.quant-ux.com/>

requirements of the features. This analysis involved examining the components in terms of dimensions, spacing, and integration with other interface elements, following the principles and usability guidelines of Material Design. Specific components of the prototype pages were meticulously evaluated based on the Material Design guidelines. For example:

- On the *homepage* (see Figure 2), elements such as the *App Bar Top*, *Icon Button*, and *Floating Action Button* (FAB) were analyzed:

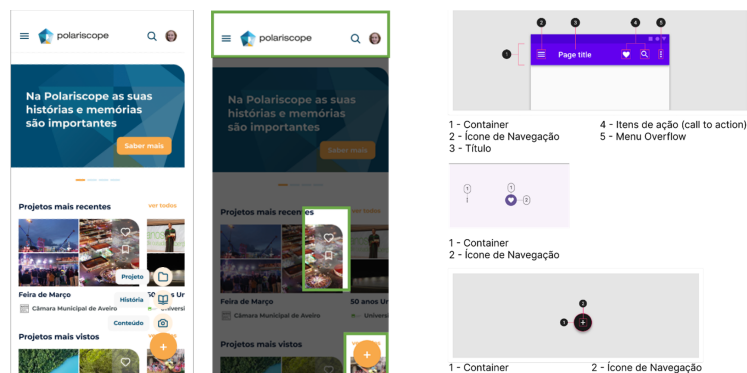


Fig. 2. Verification of the Polariscope *homepage* according to the *Material Design* guidelines. Source: <https://m3.material.io/>

- On the *project page* (see Figure 3), components like the *Tabs* and *Carousel* were analyzed:

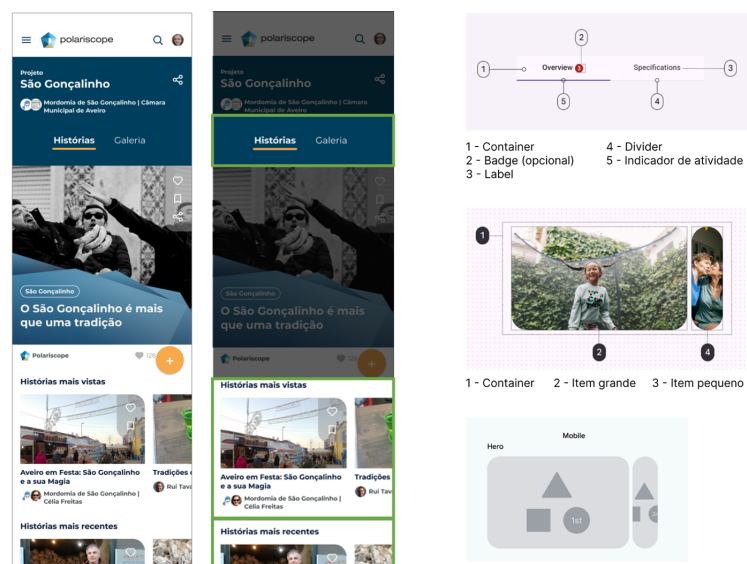


Fig. 3. Verification of the Polariscope *project page* according to the *Material Design* guidelines. Source: <https://m3.material.io/>

- In *forms*, the *input* component was examined as a critical element for gathering user information, ensuring users could easily provide relevant data for the platform. Additionally, on the *story creation form* (Figure 4), components such as the *Stepper*, *Wizard*, and *Switch Button* were analyzed:

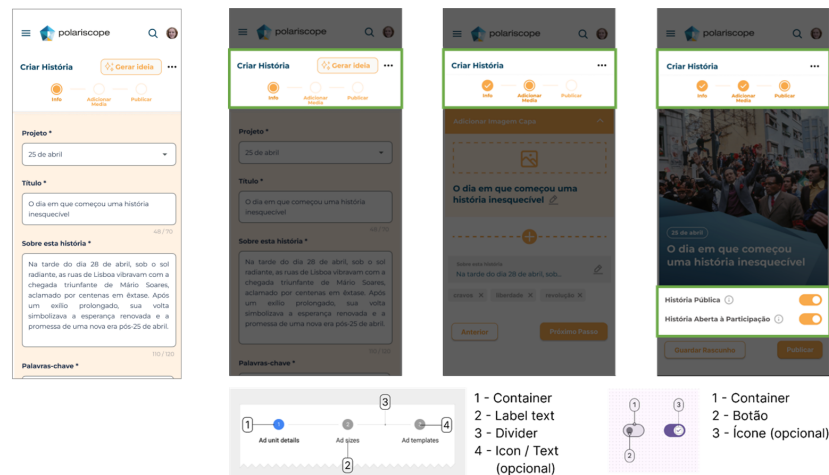


Fig. 4. Verification of the Polariscope *story creation form* according to the *Material Design* guidelines. Source: <https://m3.material.io/>

2.3 Phase 3: Usability Evaluation of the Prototype by Experts in a Laboratory Context

The final phase of the study began with the migration of the prototype from *Figma* to the *Quant UX* platform to take advantage of its capabilities for recording and analyzing user interactions during prototype evaluations. This phase also included preparation of the testing procedures, specifically the data collection instruments and metrics. To achieve a comprehensive usability assessment of the prototype, the System Usability Scale (SUS) [9] was applied, and an inspection of several pages was conducted using Nielsen's 10 Usability Heuristics [8], with recommendations for improvements documented. Finally, an open-ended question was included to allow experts to identify the main potential of the proposed solution.

Given the study's focus on usability – and considering that the Polariscope project is in the stage of validating functional requirements through medium-fidelity prototyping, where a rapid and broad identification of key design issues is most useful, a heuristic usability evaluation and qualitative analysis of the prototype by experts was chosen. A non-probabilistic convenience sample of five experts in usability and digital platforms was gathered because, as demonstrated by Nielsen [10], it is the minimum number of participants required to effectively identify problems and weaknesses in interface design. The experts were invited to participate in approximately one-hour individual sessions conducted in a laboratory setting.

At the start of each session, the mediator provided a brief overview of the study's objectives and the evaluation tools. The session was divided into two distinct stages:

- In the first stage, experts were invited to freely explore the prototype for approximately 5 minutes using Smartphone 1, where the prototype was tested in its Quant-UX version with interaction tracking. Subsequently, the experts were instructed to perform specific tasks – not to measure performance speed but to showcase the various pages and functionalities available on the Polariscope platform.
- The second stage began after task completion. During this phase, without the mediator present, experts used Smartphone 2 to interact with the Figma version of the prototype (featuring the same pages and functionalities but with smoother image carousel transitions, making it closer to the platform's final version look & feel). Experts then filled out the evaluation questionnaire.

Throughout the session, the *Think Aloud* protocol was applied, with audio recordings made upon obtaining participants' informed consent. This method aimed to capture verbal feedback during interactions with the prototype. These qualitative insights complemented data collected through the screen-capture videos and heatmaps of on-screen clicks provided by the Quant UX tool.

Following the laboratory tests, this phase involved processing and analyzing the collected data to generate recommendations for the next iteration of the Polariscope platform prototype, which will be evaluated by end-users in field trials during cultural events.

3 Results

Overall, the prototype scored an average of 77.5 out of 100 on the System Usability Scale (SUS), rated as "Good." The lowest expert score was 72.5, and the highest was 85. Notably, the participants rebutted all negative aspects of the scale, with only two neutral responses concerning complexity. The prototype was then examined page-by-page following Nielsen's 10 heuristics: 1) Visibility of System Status; 2) Match Between the System and the Real World; 3) User Control and Freedom; 4) Consistency and Standards; 5) Error Prevention; 6) Recognition Rather than Recall; 7) Flexibility and Efficiency of Use; 8) Aesthetic and Minimalist Design; 9) Help Users Recognize, Diagnose, and Recover from Errors; 10) Help and Documentation. As depicted in Figure 5, the diagram shows the incidence of issues regarding the heuristics by page. The most critical heuristic identified by participants was the second: "match between the system and the real world." This highlights the need to better align the interface with user expectations, particularly in terms of familiarity and consistency. Additionally, the content upload form emerged as the most problematic area, presenting issues across multiple heuristics: 1 ("visibility of system status"), 3 ("user control and freedom"), 4 ("consistency and standards"), and 9 ("help users recognize, diagnose, and

recover from errors”). Since forms serve as crucial input pages for user participation, they demand special attention to ensure a more intuitive and effective experience. These data were further complemented by insights obtained from the heat maps (see Figure 6) showing the average interactions from the several pages, and the experts’ verbal feedback during the Think Aloud protocol while exploring the prototype.

Página Heurística	Home page	Projeto	História	Form: Projeto	Form: História	Form: Conteúdo	Perfil	Menu
1			1	2		2		
2	3	2		1	2		2	
3	1					2		1
4		1				2		
5				1	2			
6								
7	1							
8	1	1					3	
9				2		1		
10								1

Fig. 5. Diagram of incidences of heuristics issues per prototype page



Fig. 6. Heat map with the average interactions in the story creation form

4 Final considerations and future work

Globally, the prototype achieved an average score of 77.5 out of 100 on the System Usability Scale (SUS), earning a “Good” rating. To address areas for improvement, clarity and navigation issues were analyzed in detail, page-by-page, using Nielsen's heuristics. The most critical heuristic identified was a “match between the system and the real world,” highlighting the need to better align the interface with user expectations, particularly regarding familiarity and consistency. Other insights gathered from heat maps and experts’ verbal feedback during the Think Aloud protocol further revealed areas for enhancement. Together, these findings generated several recommendations for improving both visual and textual communication related to the platform’s structure and specific interactions.

Building on these expert suggestions, a new evaluation phase was carried out involving a UX assessment with 20 end-users. The combined feedback from 5 usability experts and 20 user testing participants is now being incorporated into a high-fidelity version of the Polariscope prototype. This refined version is scheduled for extended field testing during upcoming cultural events to validate its usability, user experience, and overall performance.

Acknowledgements

This work is financially supported by National Funds through FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., under the project 2022.04424.PTDC and the UIDB/05460/2020. The authors acknowledge the collaboration of the experts who participated in the usability evaluation.

References

1. Castells, M.: The Internet Galaxy. Reflections on the Internet, Business, and Society. Oxford University Press, New York (2001).
2. Almeida, P., et al.: Remixing and repurposing cultural heritage archives through a collaborative and AI-generated storytelling digital platform. In: Proceedings of the 2024 ACM International Conference on Interactive Media Experiences Workshops (IMXw '24), pp. 100–104. ACM, New York (2024). <https://doi.org/10.1145/3672406.3672419>
3. Velhinho, A., et al.: Designing a collaborative storytelling platform to enrich digital cultural heritage archives and collective memory. In: Marcus, A. (ed.) User Experience, and Usability: 13th International Conference, DUXU 2024, HCII 2024, Proceedings, vol. 14712, pp. xx–yy. Springer, Cham (2024). https://doi.org/10.1007/978-3-031-61351-7_10
4. Wroblewski, L.: Mobile First. A Book Apart (2011). <https://mobile-first.abookapart.com/>
5. Krug, S.: Rocket Surgery Made Easy: The Do-It-Yourself Guide to Finding and Fixing Usability Problems. New Riders, Berkeley (2010).
6. Interaction Design Foundation - IxDF: What is Human-Centered Design (HCD)?. Interaction Design Foundation - IxDF (2021). <https://www.interaction-design.org/literature/topics/human-centered-design>
7. ISO 9241-210: Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centred design for interactive systems. International Organization for Standardization (2019). <https://www.iso.org/standard/77520.html>
8. Nielsen, J.: 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Nielsen Norman Group (2024). <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
9. Brooke, J.: SUS: A quick and dirty usability scale. In: Jordan, P.W., Thomas, B., Weerdmeester, B.A., McClelland, I.L. (eds.) Usability Evaluation in Industry, pp. 189–194. Taylor & Francis, London (1995).
10. Nielsen, J.: Usability Engineering. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco (1994).

Método para la estimación de la QoE en servicios de videostreaming usando técnicas de computación afectiva

Luis Miguel Castañeda Herrera¹[0000-0002-0500-8090], José Luis Arciniegas Herrera¹[0000-0002-1310-9123], Sandra Silvia Baldassarri²[0000-0002-9315-6391],
and José Ramón Beltrán Blázquez²[0000-0002-7500-4650]

¹ Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca,
Cl 5 #4-70 Popayan, Colombia

² Escuela de Ingeniería y Arquitectura, University de Zaragoza, C. María de Luna, 3,
50018 Zaragoza, España

Abstract. Con la proliferación de nuevas aplicaciones de servicios OTT de videostreaming, los distribuidores de contenido y proveedores de servicios deben garantizar una interacción eficiente, efectiva y satisfactoria entre el usuario y la aplicación de servicio. Por tanto, entre la calidad de uso y la calidad de la experiencia (QoE). La QoE en el contexto de las telecomunicaciones puede entenderse como la aceptabilidad de un servicio tal y como lo perciben los usuarios finales. Sin embargo, dada la variabilidad de la red y los diferentes factores que pueden intervenir durante el consumo del servicio por parte del usuario, es necesario disponer de un método preciso para obtener la calidad percibida y la emocionalidad del usuario, que permita a los proveedores y distribuidores tomar mejores decisiones en el diseño de sus aplicaciones OTT y en la gestión de los recursos de la red. Por este motivo, en este trabajo se presenta una discusión de las formas en que se puede medir la calidad de experiencia usando técnicas de computación afectiva, brechas encontradas, una metodología y por último, un escenario de experimentación que aborda una posible solución.

Keywords: Computación Afectiva · Machine Learning · QoE · QoS · Videostreaming.

1 Introducción

Durante la última década, los servicios de vídeo han producido un aumento considerable en el tráfico de red, consumiendo más recursos que otros tipos de flujos combinados debido a su alta demanda en aspectos de teletrabajo, ocio y actividades cotidianas por parte de los usuarios finales [6]. Además, según reportes de Cisco [9] y Sandvine [31], más del 80% de este tráfico corresponde a servicios asociados con aplicaciones sobre la red (OTT, Over The Top) [24]. Por ejemplo, en Europa y América la mitad del tráfico en la red surge por distribuidores de servicios vídeo bajo demanda (Netflix, Youtube) y Livestream

(Twitch) [17]. Así mismo, según los pronósticos de Ericsson [16], el 76 % de este tráfico será soportado por las redes 5G, y tendrá un crecimiento anual del 30 % con un consumo mensual de 124.64 EB para el año 2025 [6, 16]. Esto implica un desafío importante para los proveedores de servicios de internet (ISP, Internet Service Provider), que deben buscar nuevas estrategias para garantizar la calidad del servicio (QoS, Quality of Service) y para los proveedores de contenido de obtener una buena calidad de la experiencia (QoE, Quality of Experience) por parte de sus suscriptores o usuarios.

Dado esto, La estimación de la QoE para servicios de vídeo sigue siendo necesaria para el diseño, gestión y control de redes. La cual, según la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) se define como: "la aceptabilidad global de una aplicación o un servicio, percibida subjetivamente por el usuario final" [8]. Esta percepción (QoE) normalmente se puede estimar por medio de modelos subjetivos, objetivos o híbridos [11]. Los modelos subjetivos consisten en implementar una evaluación subjetiva, usando comúnmente la puntuación de opinión media (MOS, Mean Opinion Score) [28] o la DMOS (Dregadation Mean Opinion Score) [19]. Sin embargo, presenta un costo muy alto de inversión, debido a que es necesaria la realización de encuestas masivas en condiciones totalmente diferentes, tiempos considerables y una logística compleja [21] y el uso de expertos para validar los datos. Los modelos objetivos se fundamentan en utilizar aspectos intrínsecos de la Calidad del Servicio (QoS, Quality of Service) [19], dentro de los modelos objetivos se pueden identificar métodos dependiendo de la señal de referencia [37], en los datos [38], en las imágenes o basados en los paquetes [29, 36]. No obstante, los métodos objetivos ignoran la percepción del usuario, debido a que suelen usar variables ajenas a la interacción del usuario con el servicio [34]. Además, estas variables tienen un costo computacional considerable a la hora de su cálculo [11].

En adición a esto, han surgido investigaciones que abordan la interacción del usuario con las aplicaciones, específicamente con el concepto de usabilidad [12, 15]. La cuál, puede ser obtenida mediante el comportamiento de las características fisiológicas del usuario mientras interactúa con el servicio o producto [13, 18, 8], a través del uso de técnicas basadas en computación afectiva [7]. Por esta razón, se podría extrapolar el uso de las técnicas de computación afectiva de cara a la estimación de la QoE, con respecto a la emocionalidad del usuario. No obstante, estas técnicas se suelen centrar en las reacciones con el contenido de los servicios (Audio, Vídeo), mas no con sus cambios de calidad [8, 7, 4]. Por lo tanto, para ofrecer un servicio basado en QoE que abarque todos los aspectos tanto de calidad como la percepción del usuario, es necesario contar con métodos o herramientas que permitan identificar los cambios emocionales del usuario, relacionándolos con parámetros de QoS y separarlos de los cambios generados por el contenido, con el objetivo de que los proveedores de servicio puedan tomar mejores decisiones para poder prestar un servicio que cumpla con las expectativas del usuario final y así disminuir la pérdida de clientes o dinero.

Partiendo de lo anteriormente expuesto, la presente investigación busca dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿En qué medida los factores emocionales in-

fluyen en la estimación de la calidad de la experiencia (QoE) en servicios de vídeo bajo demanda?. Para esto, primeramente en este artículo se presenta una discusión del estado del arte, las brechas encontradas y un escenario de pruebas donde se presenta una mirada parcial del método propuesto que se está realizando en la investigación y los resultados que se esperan.

2 Estado actual del conocimiento

En esta sección se describen los trabajos actuales que han sido tenidos en cuenta para la presente investigación. Donde, para la revisión sistemática se abarcan tres ejes temáticos principales partiendo de la hipótesis planteada y la pregunta de investigación: Métodos de estimación de QoE/QoS basados en videostreaming o basados en ML, sistemas de medición para el grado de satisfacción con técnicas de computación afectiva y métodos de estimación de QoE basados en técnicas de computación afectiva.

En cuanto a las bases bibliográficas se hizo uso de Scopus e IEEE Xplore, teniendo en cuenta los últimos 6 años y las palabras claves derivadas de los ejes temáticos: QoE, Machine Learning (ML), Videostreaming, Affective computing Y Estimation. Obteniendo un total de 140 artículos, observando una tendencia de métodos de estimación orientado a el uso de ML y de los cuales 5 investigaciones asocian videostreaming con computación afectiva. A continuación se presentan las investigaciones más relevantes, un resumen de cada una de ellas, de lo que se esperar obtener como base en esta investigación y discusiones de cada uno los eje temáticos.

2.1 Métodos de estimación de QoE/QoS basados en videostreaming o basados en ML

HTTP Adaptive Streaming QoE Estimation with ITU-T Rec. P.1203 – Open Databases and Software [30]. Este artículo describe un conjunto de datos y un software abierto para la Rec. UIT-T. P.1203, como primer modelo estandarizado de QoE para transmisión adaptativa HTTP audiovisual (HAS), presentando el rendimiento del uso de modelos basados en flujo de bits en lugar de los basados en metadatos para el análisis de calidad de vídeo, y la solidez de combinar modelos clásicos con enfoques basados en ML para estimar la QoE del usuario. Esta investigación es muy útil como base fundamental del estado del arte ya que aborda el modelamiento QoE/QoS y algunas investigaciones toman como referencia este modelo para establecer métodos de estimación de QoE en videostreaming con ML.

Estimating Video Streaming QoE in the 5G Architecture Using Machine Learning [32]. En este artículo los autores presentan modelos basados en ML que se entrenan para estimar la QoE a partir de las funciones a nivel de red que están disponibles para la NWDAF. Además, los autores estudian la viabilidad de dicho enfoque con trazas generadas dentro de una simulación en OMNeT++, que permiten correlacionar las estadísticas de red y la QoE. Esta investigación

empieza a abordar la estimación de QoE en 5G. Sin embargo, como falencia solo se desarrolla en un entorno simulado sin tener en cuenta factores (perdidas de paquetes, tiempo de ida y vuelta de paquetes, jitter) que pueden afectar la percepción final del usuario en un entorno real.

Automating QoS and QoE Evaluation of HTTP Adaptive Streaming Systems [35]. En este documento, los autores proponen un marco flexible y completo para realizar evaluaciones objetivas y subjetivas de los sistemas HAS de forma totalmente automatizada y escalable. El cual permite HAS de extremo a extremo de reproductores implementados en entornos académicos o de industria y pruebas de verificación del modelo de QoE que proponen utilizando estudios subjetivos de usuarios. Aunque este artículo no tiene en cuenta factores de computación afectiva (e.g. Expresiones faciales superiores o inferiores, temperatura, conductancia de piel, ritmo cardiaco), sirve como base teórica para definir correlaciones entre atributos de QoE /QoS y el desarrollo de métodos indirectos de estimación.

An Augmented Autoregressive Approach to HTTP Video Stream Quality Prediction [3]. Esta investigación propone un enfoque NARX aumentado para el problema que genera las múltiples entradas descriptivas de QoE, donde se enfocan en mejorar la predicción de QoE en transmisiones de vídeo afectadas por cambios de velocidad, al incluir múltiples transmisiones de predicción de VQA de diferentes modelos como entradas y al implementar un conjunto de pronóstico simple. Esta investigación aporta una comparación de diversos modelos usados, en bases de datos sobre calidad en videostreaming el cual puede ser útil para el desarrollo de esta investigación.

Proposal of a tool for the automatic estimation of quality of experience in MPEG-DASH scenarios [10]. Las contribuciones de este artículo se centran en la estimación automática de la QoE a partir de los parámetros de QoS para el servicio de streaming de vídeo soportado por el estándar MPEG-DASH (Moving Picture Experts Group Dynamic Adaptive Streaming over HTTP). Para ello se desarrolla la herramienta automática de estimación de la calidad de la experiencia denominada HESCALEX (Tool for Estimating the Quality of Experience), la cual tiene en cuenta la recomendación ITU-T P1203.3. y los parámetros de la QoS como el ancho de banda. La herramienta desarrollada en esta investigación puede ser útil, ya que permitiría la estimación de QoE pero con valor agregado de que se integre la obtención de parámetros de computación afectiva en un entorno controlado con servicios de vídeo.

Como conclusión sobre las investigaciones actuales en estimación de QoE, en los últimos años hay una clara inclinación en el uso de algoritmos de ML para mitigar los problemas presentados en los métodos de estimación tanto subjetivos como objetivos [32, 35, 20], buscando disminuir la subjetividad, los tiempos de estimación, reducción de costos computacionales y la precisión en la estimación. No obstante, los métodos actuales de estimación siguen dejando de lado la percepción del usuario, o de forma más precisa, una medición objetiva de la percepción del usuario, basándose principalmente en factores de influencia (factores que pueden afectar la percepción de la QoE) de sistema o de red como los cambios presentados por calidad de codificación, buffering o problemas asociados

a las redes como pérdida de paquetes o retardo, como se observa en la Tabla 1. Por tal motivo, en la búsqueda sistemática del estado del arte también se tuvo en cuenta sistemas de medición de la satisfacción del usuario por medio de técnicas de computación afectiva que permitan observar su posible implementación en un entorno ligado al servicio, como se describe a continuación.

Table 1. Comparación métodos de estimación actuales

Autores	Factor de influencia	Escenario	Métricas
Robitza, W et al [30]	Retardo, calidad de los segmentos de vídeo, bitrate	Offline	RMSE and Correlación de Pearson
Timmerer, C et al [35]	Cambios de calidad, bitrate, buffering	Semi-online, Emulado (SDN)	MOS sin ML
Bampis, C et al [3]	Degradación por compresión, Framerate, LP	No especifica	Coficiente de correlación de Spearman (SROCC)
Jhonny A, et al [20]	Bitrate, encoding, BW.	Offline	Basado en la recomendación ITU-T P1203.3
Schwarzmann S et al [32].	Factores de red	5G (Simulado)	RMSE, MAE
Esta propuesta	Principalmente factor del usuario (no se descartan otros factores)	Por determinar	Derivadas de modelos ML (Por determinar)

2.2 Sistemas de medición para el grado de satisfacción y uso de técnicas de computación afectiva.

Proposal of a tool for the estimation of satisfaction in user tests, from facial expression analysis [8]. En este artículo se presenta una herramienta automatizada para el seguimiento emocional (expresión facial) de un usuario en una prueba de usabilidad, considerando que la satisfacción está relacionada directamente con el proceso de interacción, pretendiendo reducir la subjetividad en la determinación del atributo satisfacción. Aunque no se aborda como un método de estimación para QoE esta investigación sirve como punto de partida para un posible desarrollo en la obtención de características fisiológicas del usuario cuando interactúa con un software. Este principio se podría usar para obtener estas características en un entorno controlado donde el usuario esté observando servicios de videostreaming.

Automated Face Analysis for Affective Computing [10]. En esta investigación se plantean desafíos donde incluyen sistemas en tiempo real para la adquisición de rostros, la extracción y representación de datos faciales y el reconocimiento de expresiones faciales. En este artículo plantean brechas significativas (brechas asociadas al entorno en el que se encuentra el usuario, la temperatura ambiente,

la luz y el estado del ánimo del usuario), que se pueden tener en cuenta a la hora de desarrollar el método de estimación, principalmente cuando sea necesario capturar las características fisiológicas del rostro del usuario.

AMIGOS: A Dataset for Affect, Personality and Mood Research on Individuals and Groups [23]. Este documento presenta como principal contribución un conjunto de datos para la investigación multimodal del afecto, los rasgos de personalidad y el estado de ánimo en individuos y grupos (AMIGOS) por medio de señales neurofisiológicas. El conjunto de datos consta de grabaciones multimodales de los participantes y sus respuestas a fragmentos emocionales de películas, con mediciones de Electroencefalograma (EEG), Electrocardiograma (ECG), respuesta galvánica de la piel (GSR), grabadas en vídeo HD y videos RGB del cuerpo completo de cada usuario. Este trabajo aporta una forma en la que se pueda construir una base de datos, que permita relacionar atributos de computación afectiva con características obtenidas cuando los usuarios consumen servicios de vídeo.

Table 2. Investigaciones asociadas a la obtención de variables fisiológicas

Autores	Tipo	Relación con vídeos	Tipos de métricas
Miranda-Correa et al [23]	Reconocimiento de afecto, personalidad, estado de ánimo y contexto social	Si	Audio, Visual, EEG, GSR, ECG, Big-5 rasgos de personalidad
Delgado Agudelo et al [8]	Análisis de expresión facial	No	Visual, Paul Ekman Model, Big-5 rasgos de personalidad
F. Cohn et al [10]	Reconocimiento de emociones basado en expresiones faciales	No	UFAC, LFAC, Big-5 rasgos de personalidad
Esta propuesta	Reconocimiento de emociones basado en múltiples técnicas afectivas	Si	UFAC, LFAC, GSV, BOS, HR, EDA

En cuanto mecanismos de computación afectiva que permitan identificar cambios de características fisiológicas del usuario, se ha observado que ya se están explorando estos cambios cuando los usuarios están consumiendo un servicio de vídeo [10], [23], principalmente en la obtención de expresiones faciales como se observa en la Tabla 2. No obstante, estas investigaciones están asociadas solo al contenido del vídeo y no en los posibles cambios de calidad presentes en una transmisión normal, identificando una brecha de investigación. La cual, es poder determinar cuándo se presentan cambios de emociones por calidad y no por contenido, por ejemplo, en el caso de una película con diversos tipos de escenas se pueden generar cambios de humor como sorpresa, miedo o estrés. Por eso, es necesario plantear un escenario que permita garantizar estos cambios en las

emociones debido a fallos en la transmisión o cambios en la calidad del vídeo, haciendo necesaria la búsqueda de investigaciones que integren tanto la medición de percepción del usuario con los cambios de calidad del vídeo y su posible relación, como se explora en el siguiente ítem.

2.3 Métodos de estimación de QoE basados en técnicas de computación afectiva

Building a Large Dataset for Model-based QoE Prediction in the Mobile Environment [2]. El objetivo principal de esta investigación es presentar un banco de pruebas para evaluar subjetivamente la QoE del usuario utilizando una aplicación de vídeo OTT, considerando el impacto de varios factores (QoE IF). El banco de pruebas utiliza varias redes de comunicación celular (HSPA, 3G (UMTS), 4G(LTE)), donde se examina la influencia de diferentes parámetros en el entorno en tiempo real y se construye un dataset. Esta investigación aporta una base de datos que puede servir como punto de partida y de comparación para establecer que, características pueden funcionar de cara a la estimación de QoE basado en computación afectiva.

An Improved QoE Estimation Method based on QoS and Affective Computing [1] En este artículo plantean usar computación afectiva (AC) para anticipar la medición de (QoE) del usuario usando una cámara al incluir los factores emocionales (nivel de usuario) además de los parámetros de QoS (nivel de red y aplicación) en el proceso de estimación. Este artículo proporciona una base teórica importante para poder establecer el método de estimación basado en computación afectiva, no obstante, se enfocan en redes móviles hasta 4G, es importante seguir investigando en otros entornos de red más modernos y actualizados.

Emotional impact of video quality: Self-assessment and facial expression recognition [27]. Este estudio investiga los efectos de las degradaciones visuales en la percepción de la calidad y el estado emocional de los participantes que estuvieron expuestos a una serie de vídeos cortos. Haciendo un enfoque de análisis de varianza multivariado que permitió examinar los efectos de los factores de degradación visual en la calidad percibida y las dimensiones emocionales subjetivas y utilizando un enfoque de ML, se derivó un sistema automático de predicción de la calidad de vídeo de la experiencia (VQoE) basado en las expresiones faciales grabadas, lo que demuestra una fuerte correlación entre las expresiones faciales y la calidad percibida. Esta investigación sirve como base fundamental teórica para determinar la correlación que hay entre las expresiones faciales y la degradación del vídeo. Sin embargo, la degradación planteada solo se hace en vídeos de muy corta duración (20 segundos) a 480p y por medio de desenfocar la imagen mas no por cambios en la calidad del servicio, es necesario seguir investigando en como los cambios de niveles de calidad (e.g, transiciones entre 640p, 720p, 1080p) en el vídeo y características de vídeo (eg, bitrate, framerate, atributos de tráfico) puedan afectar las emociones del usuario.

Inference Analysis of Video Quality of Experience in Relation with Face Emotion, Video Advertisement, and ITU-T P.1203 [5]. Esta investigación aborda la

interacción de las expresiones faciales con los comerciales o anuncios que se presentan en los servicios de videostreaming, el método que diseñaron la comparan con los métodos basados en la recomendación de la ITU-T P.1203. Esta investigación sirve como un buen ejemplo para la integración de la recomendación para estimar QoE con lo que puedan percibir los usuarios. No obstante, al enfocarse en la interacción por anuncios, depende mucho de los contenidos y la estimación podría verse afectada ya que no se podría detectar correctamente los cambios por calidad del servicio.

Estimation of the Quality of Experience during Video Streaming from Facial Expression and Gaze Direction [26]. Este artículo investiga la posibilidad de estimar la calidad de la experiencia (QoE) percibida de forma automática y discreta mediante el análisis del rostro del consumidor de servicios de transmisión de vídeo, del cual se extraen la expresión facial y la dirección de la mirada. De los experimentos realizados usando ML el algoritmo que mejor rendimiento que obtuvieron fue con el clasificador k-NN al combinar todas las características descritas y después de entrenarlo con ambos conjuntos de datos, con una precisión de predicción de hasta el 93,9%. Para este caso, se buscará hacer una comparación con algoritmos más robustos ya que tanto SVM como k-NN en casos de transmisión en vivo o entornos reales pueden disminuir drásticamente su rendimiento a la hora de tener cambios en los datos de entrada de sus modelos en intervalos de tiempo [6].

Table 3. Investigaciones que asocian computación afectiva con estimación de QoE.

Autores	Tipo	Tipos de métricas
Porcu, S [27]	Reconocimiento de expresiones faciales	FACS
Porcu, S et al. [26]	Expresión facial y dirección de la mirada	UFAC, LFAC, atributos de dirección de la mirada
Lamine A, et al. [2]	Dataset de emociones basado en expresiones faciales	Big-5 rasgos de personalidad, Género, Edad, Nivel académico.
Selma T, et al. [5]	Reacciones por comerciales e ITU-T P.1203	UFAC, LFAC, Big-5 rasgos de personalidad
Lamine A, et al. [1]	Reconocimiento de emociones basado en expresiones faciales	UFAC, LFAC, Big-5 rasgos de personalidad, Género, Edad, Nivel académico.
Esta propuesta	Reconocimiento de emociones basado en múltiples técnicas afectivas e ITU-T P.1203	UFAC, LFAC, Big-5 rasgos de personalidad, GSV, BOS, HR, EDA

Este trabajo al igual que [2, 1, 27], presenta una relación clara en el uso de técnicas de ML para la estimación de QoE basada en computación afectiva; en general, la mayoría se basan en expresiones faciales, como se observa en la tabla 3, y se implementan en redes simuladas, mostrando que es importante investigar cómo se comportan este tipo de métodos en entornos reales. Otro aspecto que

se observa es que los atributos que usan para construir los modelos de ML son parámetros como sexo, nivel educativo, operador o edad, que suelen afectar la percepción del usuario por el contenido del vídeo, mas no por su calidad. Debido a esto, es necesario buscar características diferentes a las mencionadas, tales como: ritmo cardíaco, transconductancia de la piel, temperatura, entre otros, que permitan disminuir la percepción por contenido y así tener un método más preciso y confiable. Además, los datasets presentes en estas investigaciones son antiguos y tienen un desbalance ligado a una mayoría de atributos afectivos y no tanto de calidad del vídeo, causando que aumente aún más la subjetividad. Estableciendo un aporte significativo en esta investigación que sería la construcción de un nuevo dataset.

Finalmente, estas investigaciones serán cruciales para tener puntos de comparación, sobre cómo se presentan los cambios de emociones dados por calidad del vídeo con respecto a las dados por contenido. Además, determinar si es posible establecer un método de estimación indirecto o híbrido de QoE en otros entornos de red y con otras características fisiológicas no exploradas de los usuarios.

3 Brechas existentes

De acuerdo a lo presentado en el estado actual del conocimiento, sobre métodos de estimación basados en videostreaming, técnicas de computación afectiva y estimación de QoE basada en computación afectiva. Además, de los resultados obtenidos en el análisis sistemático de los diferentes trabajos investigativos, se detectan las siguientes brechas de investigación:

- Se encontró en la revisión de la literatura investigaciones que abordan una interacción inicial entre características de calidad del servicio con computación afectiva. No obstante, no se ha encontrado un método indirecto que permita la estimación QoE en un escenario controlado que incluya variables fisiológicas.
- Se evidencio una tendencia clara en los últimos años en usar algoritmos de ML para mitigar los problemas presentados en los métodos de estimación tanto subjetivos como objetivos. Sin embargo, los métodos actuales de estimación siguen dejando de lado la emocionalidad del usuario, es necesario desarrollar un método indirecto que permita una medición objetiva de la percepción del usuario basado en su estado emocional al consumir un servicio.
- En cuanto a la validación de los métodos de estimación, se observa que usualmente se usan expertos para verificar que las estimaciones estén correctas. No obstante, es muy costoso tener expertos para medir QoE constantemente, es necesario tener un mecanismo automatizado que mida esa variable durante el tiempo o intervalos de tiempo.
- De lo encontrado en la literatura los enfoques propuestos en medir satisfacción se basan generalmente en los cambios emocionales del usuario con respecto al contenido del vídeo, los atributos que se suelen usar en este caso

para el modelado están ligados a que la percepción puede variar según el perfil del usuario, donde se evidencian atributos como sexo, nivel educativo, operador, edad, etc. Es necesario investigar sobre otros tipos de atributos que permitan disminuir la percepción por contenido y así tener un método de estimación más completo basado en el servicio.

- Al observar los escenarios planteados en las investigaciones y la antigüedad de los dataset disponibles, se hace necesario plantear un escenario controlado que permita garantizar cambios en las emociones debido a fallos en la transmisión o cambios en la calidad del vídeo en redes más actuales y la creación de un nuevo dataset.

4 Metodología

Definida las brechas y teniendo en cuenta el estudio del estado del arte que se realizó, se definió, para esta investigación un método de estimación indirecto basado en modelos de ML, por lo tanto, es necesario plantear una metodología basada en minería de datos. En general, para el diseño de los mecanismos de clasificación se toman en cuenta algunos modelos de minería de datos como; CRIPS-DM (CRoss-Industry Standard Process for Data Mining)[22] o SEMMA (Sample, Explore, Modify, Model, Assess)[25] . De las fases presentes en estos modelos, se determinan algunas fases que el método debe realizar para tener una correcta estimación, las cuales son: el análisis de los datos, preparación de los datos, modelado y evaluación e implementación.

- Análisis de los datos: Consiste en la comprensión de datos, esto quiere decir que se requiere que haya un elemento que recopile e identifique los problemas de calidad de los datos (e.g, errores de medición, outliers, datos mal distribuidos, datos duplicados, datos nulos, etc.) .
- Preparación de los datos: En esta fase se realizan tareas de transformaciones, agregación, muestreo, reducción de dimensionalidad, selección de atributos, creación de atributos, discretización y binarización de los datos. Su principal importancia es preparar los datos sin procesar antes de alimentar los algoritmos de ML.
- Modelado: Esta fase consiste primeramente en elegir un método de ML, bien sea de: clasificación, regresión o agrupamiento. Luego implementar el método elegido con algún algoritmo y validar el modelo creado. En la práctica, esto significa separar algunos datos en un conjunto de entrenamiento y el resto en datos de validación. Para luego ser usados en una validación cruzada y usualmente se usa 10% de los datos de entrenamiento como datos de validación.
- Validación: Consiste en validar el método ya implementado para determinar qué tan bien cumple con los objetivos planteados o si existe alguna razón por la que se repita el proceso con otro modelo de ML.

Con base en las fases previamente mencionadas que debe tener un mecanismo de minería de datos y teniendo en cuenta las variables que se identificaron en

la búsqueda sistemática que se usaban comúnmente en la relación humano con servicios de vídeo dadas en [1],[27],[33], en este artículo se propone un método automatizado para monitorizar el comportamiento emocional de un usuario basado en su expresión facial, electroencefalograma (EEG), electrocardiograma (ECG), temperatura corporal y ritmo cardíaco. Donde, se establece el siguiente diagrama de flujo donde se muestra el funcionamiento que debe tener el mecanismo de estimación como se observa en la Figura 1. Donde, se presenta un diagrama que consta de las siguientes fases: captura de datos, extracción de características y procesamiento de datos, almacenamiento en una base de datos, modelado, evaluación o clasificación.

En aspectos generales el mecanismo funciona de dos modos, un modo *offline* y otro *online*.

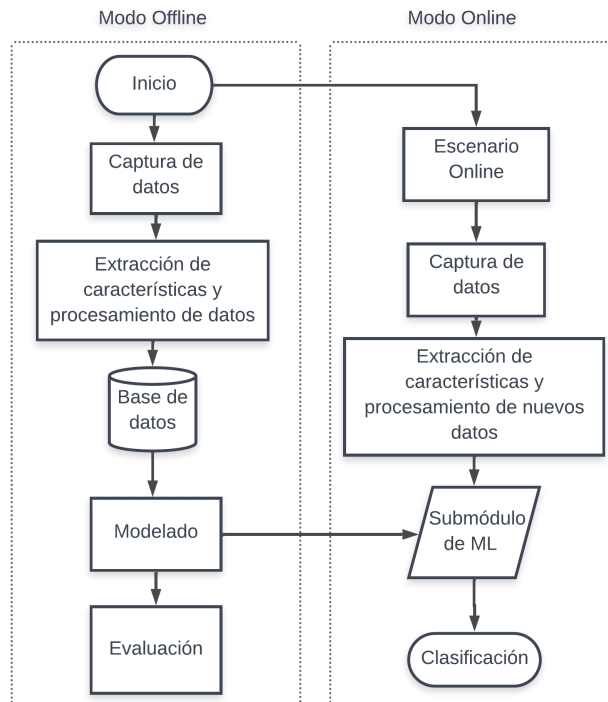


Fig. 1. Diagrama de flujo para la identificación autónoma de QoE en servicios de vídeo (Fuente: propia).

En el modo *offline* como lo indica su nombre. Primeramente, se capturan datos fisiológicos de los usuarios mientras consumen servicios de vídeo en un escenario controlado para luego analizarlos de manera *offline*. Luego, los datos

son procesados extrayendo sus características, las cuales son organizadas para poder generar una base de datos o dataset. Posteriormente, esta base de datos es usada para probar uno a varios algoritmos de ML y así crear varios modelos que serán evaluados comparándolos con una validación cruzada.

En el modo *online* se implementa el método en un entorno real controlado, del cual se extraen características de calidad de los vídeos y características fisiológicas de los usuarios; los datos obtenidos provienen de varios servicios que se están consumiendo por parte de los usuarios. Las características obtenidas de estos nuevos datos se usan para actualizar la base de datos y posteriormente el submódulo de ML con el modelo previamente creado en la fase *offline* al recibir las características provenientes de cada nueva interacción usuario-software, retorna la información de la QoE estimada con su correspondiente clasificación, bien sea un nivel de MoS bajo o alto.

5 Escenario de experimentación

En este momento, la investigación se encuentra en la fase de experimentación, para poder construir un conjunto de datos. Para lograrlo, inicialmente se propone un método automatizado para monitorizar el comportamiento emocional de un usuario en función de su expresión facial, ya que, teniendo en cuenta que la mayoría de los dispositivos terminales actuales cuentan con cámara, haría factible la implementación de un método de estimación en un entorno de red basado en expresiones faciales. No obstante, teniendo en cuenta que hay otros factores que pueden variar durante el tiempo y que no son de respuesta inmediata, se ha integrado mediciones de EDA (Actividad electrodérmica), ritmo cardíaco, oxígeno en la sangre, señales de EEG Y EEC.

La Figura 2 muestra el escenario en el que se pretende obtener datos fisiológicos, el cual consiste de 3 módulos. En primer lugar, en el modulo de adquisición se utiliza una cámara web (dispositivo) dispuesta en un escenario controlado, obteniendo continuamente imágenes del rostro del usuario que, al mismo tiempo, está observando un servicio de vídeo, en este caso aun esta por definirse que otros sensores se van a usar. En el caso del servicio, proviene de un servidor de vídeo en streaming de DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP), del que se conocerán previamente los parámetros QoS/QoE del vídeo por medio de la recomendación ITU-T P.1203, haciendo unas pruebas preliminares de cambios de ancho de banda en la red. Dentro del servidor están alojados los vídeos con diferentes resoluciones (1080p, 720p, 540p, 144p), los cuales serán consumidos desde un cliente el cual, dependiendo de los cambios de calidad que se presenten en la red, cambiarán su resolución y luego, con los metadatos del vídeo obtenidos, se estimará la QoE usando la recomendación de la ITU-T P.1203. Con respecto a los vídeos, se clasificaron en 5 diferentes tipos de contenido para lograr diferentes reacciones en los usuarios desde videos calmados a videos con mucho movimiento.

A continuación, se capturan rasgos para obtener una de las posibles emociones, como por ejemplo: neutral, triste, feliz, enfadado, sorprendido o disgust-

tado (para un ejemplo basado en el modelo de Ekman) [14] y se buscan posibles correlaciones con características conocidas del servicio provenientes del servidor. Los resultados analizados se almacenan en una base de datos (recolector de datos) dentro del módulo de estimación. En este módulo se recogen registros de tiempo o emoción de las capturas realizadas y de las instancias etiquetadas en la fase anterior. Luego, en el submódulo de ML se crea un modelo en función de la posible correlación que puedan tener las características fisiológicas con las del servicio, que tras un proceso de validación permita estimar la QoE. Finalmente, el módulo de resultados muestra el grado de emoción obtenido y el valor estimado de QoE que lo representa.

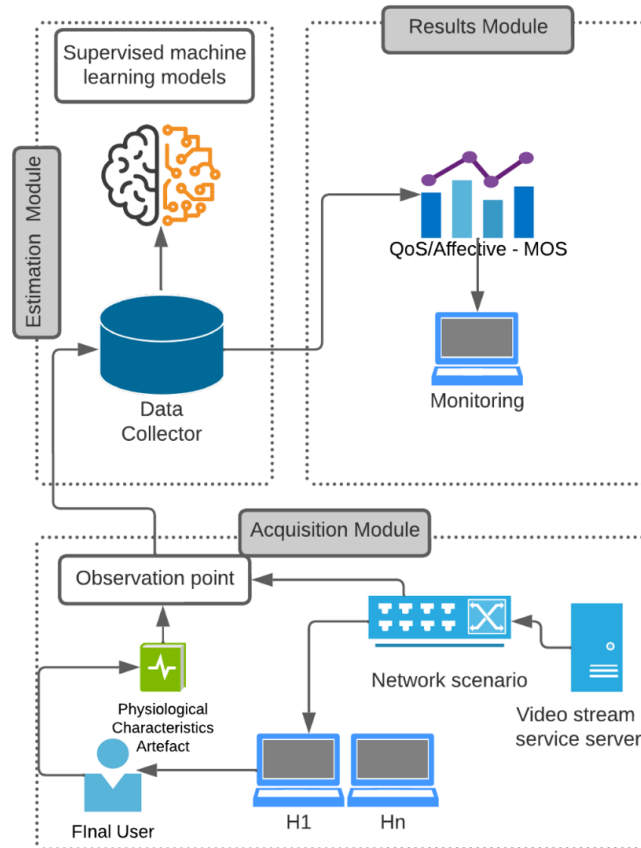


Fig. 2. Escenario propuesto [Fuente propia].

6 Conclusiones y trabajos futuros

En la última década, la estimación de la QoE ha sido objeto de estudio por la academia e industria, debido a su importancia en la gestión de la red. Por otra parte, los servicios de videostreaming según reportes de Cisco [9] y Sandvine [31], presentan más del 80 % del tráfico total en las redes, generando un constante conflicto tanto para los ISP, distribuidores de contenido y operadores móviles. Que, con la proliferación de nuevas aplicaciones y el aumento del uso de recursos por los usuarios, tienen la necesidad de implementar métodos que garanticen una buena calidad de los servicios de vídeo sin degradar la calidad de experiencia (QoE) percibida por los usuarios finales.

De esta manera, esta propuesta presenta como aporte a los métodos actuales de estimación, el desarrollo de un método indirecto o híbrido que apunte hacia la obtención de calidad de la experiencia percibida por el usuario de una forma más completa, relacionando la emocionalidad obtenida de las características fisiológicas del usuario usando algoritmos de ML, con parámetros establecidos por la QoS e identificar cómo afectan sus fluctuaciones con la emoción del usuario, y así, mejorar indirectamente la precisión en la estimación de la QoE. Donde, se realizará un estudio de las características fisiológicas (gestos, expresiones faciales, ritmo cardíaco, conductividad de la piel o propiedades acústicas de la voz) y su posible correlación con parámetros de QoS (ancho de banda, retardo, paquetes perdidos, tipos de codificación, etc.) y la MOS. Además, se establecerán diferentes modelos de ML supervisado para determinar cuáles presentan un mejor rendimiento a la hora de la estimación y luego de un proceso de validación, establecer cuál es el más preciso para una implementación final del método propuesto.

Finalmente, al proponer un método de estimación más completo, permitiría a los ISP, proveedores de contenido y operadores móviles, optimizar las tareas de gestión de los recursos de red o la calidad de sus servicios de acuerdo con las necesidades del usuario, contribuyendo a la mejora de la calidad percibida de los servicios de vídeo.

Acknowledgments. Esta investigación es parte del proyecto: Fortalecimiento de capacidades de CTeI para la innovación educativa en educación básica y media, mediante uso de la plataforma de recomendaciones de contenidos de vídeo (vLRF) en instituciones oficiales y privadas del municipio de Popayán, BPIN: 2020000100654 Financiado por el Sistema General de Regalías de la nación de Colombia y apoyado por la Secretaría de educación de la ciudad de Popayán y la Universidad del Cauca.

Disclosure of Interests. Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés

References

1. Amour, L., Boulabiar, M.I., Souihi, S., Mellouk, A.: An improved qoe estimation method based on qos and affective computing. In: 2018 Interna-

- tional Symposium on Programming and Systems (ISPS). pp. 1–6 (2018). <https://doi.org/10.1109/ISPS.2018.8379009>
2. Amour, L., Sami, S., Hoceini, S., Mellouk, A.: Building a large dataset for model-based qoe prediction in the mobile environment. In: Proceedings of the 18th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. p. 313–317. MSWiM '15, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2015). <https://doi.org/10.1145/2811587.2811631>, <https://doi.org/10.1145/2811587.2811631>
3. Bampis, C., Bovik, A.: An augmented autoregressive approach to http video stream quality prediction (07 2017). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1707.02709>
4. Barragán, M., Chanchí, G.E., Campo, W.: Sistema de recomendación para contenidos musicales basado en el análisis afectivo del contexto social. RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao pp. 100–113 (12 2020). <https://doi.org/10.17013/risti.39.100-113>
5. Begue, J., Labiod, M.A., Mellouk, A.: New approach for an affective computing-driven quality of experience (qoe) prediction. IEEE Communications Magazine **61**(10), 54–60 (2023). <https://doi.org/10.1109/MCOM.002.2200870>
6. Castaneda Herrera, L.M., Duque Torres, A., Campo Munoz, W.Y.: An approach based on knowledge-defined networking for identifying video streaming flows in 5g networks. IEEE Latin America Transactions **19**(10), 1737–1744 (Apr 2021), <https://latam.ieeer9.org/index.php/transactions/article/view/5083>
7. Chanchí, G.E., Ospina, M., Perez Medina, J.L.: Iot system to monitoring heart rate variability in usability tests. Espacios **41**, 84–97 (07 2020)
8. Chanchí, G.E., Sierra Martínez, L., Ospina, M.: Application of affective computing in the analysis of promotional videos of tourism in the city of popayán-colombia. RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao **E36**, 341–354 (10 2020)
9. Cisco: Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022. Cisco (Feb), 147 (2019), [Online]. Available: <https://davidellis.ca/wp-content/uploads/2019/05/cisco-vni-feb2019.pdf>
10. Cohn, J., Torre, F.D.L.: Automated face analysis for affective computing (2015)
11. Cuellar, J., Ortiz, J., Arciniegas, J.: Clasificación y análisis de métodos para medir calidad de la experiencia del servicio de televisión sobre protocolo ip (iptv). Información tecnológica **25**, 121–128 (12 2013). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000500017>
12. Delgado Agudelo, D.M., Girón Timaná, D.F., Chanchí Golondrino, G.E., Márceles Villalba, K.: Propuesta de una herramienta para la estimación de la satisfacción en pruebas de usuario, a partir del análisis de expresión facial. Revista Colombiana de Computación **19**(2), 6–15 (dic 2018). <https://doi.org/10.29375/25392115.3438>, <https://revistas.unab.edu.co/index.php/rcc/article/view/3438>
13. Diaz, Y., Alm, C.O., Nwogu, I., Bailey, R.: Towards an affective video recommendation system. In: 2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops). pp. 137–142 (2018). <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2018.8480130>
14. Donato, G., Bartlett, M., Hager, J., Ekman, P., Sejnowski, T.: Classifying facial actions. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **21**(10), 974–989 (1999). <https://doi.org/10.1109/34.799905>
15. Enriquez, J., Casas, S.: Usabilidad en aplicaciones móviles. Informes Científicos - Técnicos UNPA **5**, 25 (06 2014). <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v5i2.71>

16. Ericsson: Ericsson Mobility Report. Ericsson (June), 36 (2020), [Online.] Available: <https://www.ericsson.com/49da93/assets/local/mobility-report/documents/2020/june2020-ericsson-mobility-report.pdf>
17. Feng-Hui, H., Wen-An, Z., Yu, D.: Qoe issues of ott services over 5g network. In: 2014 Ninth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications. pp. 267–273 (2014). <https://doi.org/10.1109/BWCCA.2014.74>
18. G., G., M., W., Arciniegas, J.: Context-based architecture for vod service support. RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao pp. 55–71 (10 2018). <https://doi.org/10.17013/risti.29.55-71>
19. Irizar, C.A., Neyra, J.M., Calderón, C.A.: Evaluación de qoe en servicios ip basada en parámetros de qos (2019), <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:169662170>
20. Jhonny Atehortua, Gabriel Chanchi, W.C.: Proposal of a tool for the automatic estimation of quality of experience in mpeg-dash escenarios. *Przegląd Elektrotechniczny* p. 139 (08 2022). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1707.02709>
21. Kim, H.J., Choi, S.G.: A study on a qos/qoe correlation model for qoe evaluation on iptv service. In: 2010 The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). vol. 2, pp. 1377–1382 (2010)
22. Martínez-Plumed, F., Contreras-Ochando, L., Ferri, C., Hernández Orallo, J., Kull, M., Lachiche, N., Ramírez Quintana, M.J., Flach, P.A.: Crisp-dm twenty years later: From data mining processes to data science trajectories. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* pp. 1–1 (2019). <https://doi.org/10.1109/TKDE.2019.2962680>
23. Miranda-Correa, J.A., Abadi, M.K., Sebe, N., Patras, I.: Amigos: A dataset for affect, personality and mood research on individuals and groups. *IEEE Trans. Affect. Comput.* **12**(2), 479–493 (Apr 2021). <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2018.2884461>, <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2018.2884461>
24. Nossenson, R., Polacheck, S.: On-line flows classification of video streaming applications. In: 2015 IEEE 14th International Symposium on Network Computing and Applications. pp. 251–258 (2015). <https://doi.org/10.1109/NCA.2015.51>
25. Palacios, H.J.G., Pantoja, G.A.H., Navarro, A.A.M., Puetaman, I.M.A., Toledo, R.A.J.: Comparativa entre crisp-dm semma para la limpieza de datos en productos modis en un estudio de cambio de cobertura y uso del suelo: Comparative between crisp-dm and semma for data cleaning of modis products in a study of land use and land cover change. In: 2016 IEEE 11th Colombian Computing Conference (CCC). pp. 1–9 (2016). <https://doi.org/10.1109/ColumbianCC.2016.7750789>
26. Porcu, S., Floris, A., Voigt-Antons, J.N., Atzori, L., Möller, S.: Estimation of the quality of experience during video streaming from facial expression and gaze direction. *IEEE Transactions on Network and Service Management* **17**(4), 2702–2716 (2020). <https://doi.org/10.1109/TNSM.2020.3018303>
27. Porcu, S., Uhrig, S., Voigt-Antons, J.N., Möller, S., Atzori, L.: Emotional impact of video quality: Self-assessment and facial expression recognition. In: 2019 Eleventh International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). pp. 1–6 (2019). <https://doi.org/10.1109/QoMEX.2019.8743186>
28. Ribeiro, F., Florêncio, D., Zhang, C., Seltzer, M.: Crowdmos: An approach for crowdsourcing mean opinion score studies. In: 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). pp. 2416–2419 (2011). <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2011.5946971>

29. Rifaï, H., Mohammed, S., Mellouk, A.: A brief synthesis of qos-qoe methodologies. In: 2011 10th International Symposium on Programming and Systems. pp. 32–38 (2011). <https://doi.org/10.1109/ISPS.2011.5898880>
30. Robitza, W., Göring, S., Raake, A., Lindegren, D., Heikkilä, G., Gustafsson, J., List, P., Feiten, B., Wüstenhagen, U., Garcia, M.N., Yamagishi, K., Broom, S.: Http adaptive streaming qoe estimation with itu-t rec. p. 1203: open databases and software. In: Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference. p. 466–471. MMSys '18, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2018). <https://doi.org/10.1145/3204949.3208124>, <https://doi.org/10.1145/3204949.3208124>
31. Sandvine: Global internet phenomena report 2019. Sandvine p. 23 (2019), [Online]. Available:<https://www.sandvine.com/global-internet-phenomena-report-2019>
32. Schwarzmann, S., Cassales Marquezan, C., Bosk, M., Liu, H., Trivisonno, R., Zinner, T.: Estimating video streaming qoe in the 5g architecture using machine learning. In: Proceedings of the 4th Internet-QoE Workshop on QoE-Based Analysis and Management of Data Communication Networks. p. 7–12. Internet-QoE'19, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2019). <https://doi.org/10.1145/3349611.3355547>, <https://doi.org/10.1145/3349611.3355547>
33. Selma, T., Masud, M.M., Bentaleb, A., Harous, S.: Inference analysis of video quality of experience in relation with face emotion, video advertisement, and itu-t p.1203. *Technologies* **12**(5) (2024). <https://doi.org/10.3390/technologies12050062>, <https://www.mdpi.com/2227-7080/12/5/62>
34. Takahashi, A., Hands, D., Barriac, V.: Standardization activities in the itu for a qoe assessment of iptv. *IEEE Communications Magazine* **46**(2), 78–84 (2008). <https://doi.org/10.1109/MCOM.2008.4473087>
35. Timmerer, C., Zabrovskiy, A.: Automating qos and qoe evaluation of http adaptive streaming systems (09 2019). <https://doi.org/10.12142/ZTECOM.201901004>
36. Winkler, S.: Video quality measurement standards — current status and trends. In: 2009 7th International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS). pp. 1–5 (2009). <https://doi.org/10.1109/ICICS.2009.5397585>
37. Winkler, S., Mohandas, P.: The evolution of video quality measurement: From psnr to hybrid metrics. *IEEE Transactions on Broadcasting* **54**(3), 660–668 (2008). <https://doi.org/10.1109/TBC.2008.2000733>
38. You, J., Reiter, U., Hannuksela, M.M., Gabbouj, M., Perkis, A.: Perceptual-based quality assessment for audio-visual services: A survey. *Signal Processing: Image Communication* **25**(7), 482–501 (2010). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.image.2010.02.002>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923596510000299>, special Issue on Image and Video Quality Assessment

Cibercultura y Educación en el Metaverso: Semiósfera del Aprendizaje Digital mediante Metodología SIALU

Mónica Santillán Trujillo [0000-0002-7807-95213]

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador
mlsantillan@espe.edu.ec

José Miguel Uceda [0000-0002-1584-6465]

Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Ecuador
jmiguelramirez@gmail.com

Carlos de Castro Lozano [0000-0002-9878-2751]

Universidad de Córdoba, CTI, Córdoba, Spain
carlosj@uco.es

Resumen.

El presente artículo analiza la implementación de la metodología SIALU en entornos educativos inmersivos, destacando su papel en la personalización del aprendizaje, la retención del conocimiento y la promoción de una educación más inclusiva. A diferencia de estudios previos, esta investigación se fundamenta en un enfoque empírico que permite evaluar el impacto real de SIALU dentro de la plataforma OTT-Learning Teledu Interactive®. Mediante una combinación de estrategias basadas en semiótica educativa y tecnologías inmersivas, se ha diseñado un modelo que adapta los contenidos de manera dinámica a las necesidades y características de cada estudiante, optimizando la experiencia de aprendizaje en entornos virtuales.

Los resultados del estudio reflejan mejoras significativas en la interacción y el rendimiento académico de los participantes. En particular, se observó un incremento del 35 % en el compromiso estudiantil y una mejora del 25 % en la retención del conocimiento, lo que evidencia el potencial de esta metodología para fortalecer la formación en escenarios digitales. Además de analizar estos hallazgos, el artículo discute implicaciones futuras para la educación inmersiva y plantea líneas de investigación orientadas a perfeccionar la integración de la semiótica educativa con tecnologías avanzadas, facilitando así la evolución de los ecosistemas de aprendizaje en el ámbito digital.

Palabras claves: Metaverso educativo, Semiótica, Metodología SIALU, Narrativas transmedia, Inteligencia artificial generativa afectiva.

1.1 Introducción

La transformación digital ha revolucionado los paradigmas educativos, permitiendo la creación de entornos inmersivos y personalizados. En este contexto, el metaverso emerge como un ecosistema interactivo que combina tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial generativa afectiva, los gemelos digitales y las narrativas transmedia (Mystakidis, 2022; Huang et al., 2023). Estas herramientas no solo redefinen cómo se aprende, sino también cómo se construyen y resignifican los conocimientos en un entorno culturalmente diverso (Bates, 2019; Kress & Van Leeuwen, 2024). Según De Castro et al. (2015), el uso de tecnologías digitales en educación ha permitido superar barreras históricas de exclusión, ofreciendo nuevas oportunidades de aprendizaje a personas con necesidades educativas especiales. Este enfoque es particularmente relevante en el metaverso, donde la accesibilidad y usabilidad digital se combina con personalización e inmersión.

Este artículo propone un marco teórico-práctico para integrar dichas tecnologías en ecosistemas educativos innovadores, abordando las brechas actuales en personalización, inclusión y significación cultural. Basado en estudios recientes (Mystakidis, 2022; Huang et al., 2023), este trabajo contribuye al diseño de ecosistemas educativos que promueven aprendizajes más inclusivos y efectivos mediante la metodología SIALU. Un concepto clave que guía esta transición es la semiósfera, definida por Lotman (1990) como un espacio semiótico en el cual los signos y significados interactúan dinámicamente para generar nuevos procesos de sentido. En el contexto educativo, esta noción permite entender cómo los entornos interactivos, como el metaverso, pueden resignificar los procesos de enseñanza-aprendizaje al integrar elementos culturales diversos. Adicionalmente, el auge de la Televisión Digital Interactiva (iDTV) y el crecimiento exponencial de plataformas OTT (Over The Top) a nivel mundial han abierto oportunidades sin precedentes para diseñar contenidos inmersivos y personalizados que transforman la experiencia del usuario, especialmente en el ámbito educativo.

La implementación de la Televisión Digital Interactiva (iDTV) y ahora el crecimiento exponencial de la plataforma OTT (Over The Top) en todo el mundo, ha abierto nuevas oportunidades para la creación de contenidos interactivos que enriquecen la experiencia del espectador. Ordóñez, Suing y Santillán Trujillo (2015) documentan experiencias en la generación de estos contenidos, destacando la importancia de la semiótica en el diseño de aplicaciones que facilitan la interacción del usuario con la plataforma

televisiva

En este contexto, la semiósfera se establece como un marco esencial para comprender las dinámicas de significación que emergen en el metaverso educativo. La semiosis, entendida como el proceso continuo de producción e interpretación de signos, permite identificar las múltiples capas de significación presentes en estos ecosistemas digitales. Estas interacciones no solo redefinen la construcción del conocimiento (Santillán et al., 2020), sino que también establecen principios innovadores para diseñar entornos educativos inclusivos y culturalmente relevantes. Por ejemplo, la resignificación de símbolos educativos mediante narrativas transmedia y gemelos digitales demuestra cómo estas dinámicas pueden enriquecer los procesos de aprendizaje en el metaverso.

En el metaverso, la semiósfera se posiciona como un marco ideal para integrar tecnologías exponenciales y metodologías educativas innovadoras. La metodología SIALU (Sistema Innovador de Aprendizaje Lúdico Ubicuo) representa una solución interdisciplinaria que combina principios semióticos y tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial generativa afectiva y los gemelos digitales, para transformar los ecosistemas educativos. Este enfoque permite diseñar entornos de aprendizaje inclusivos, personalizados y culturalmente adaptados, abordando las brechas actuales en la enseñanza tradicional (De Castro C., 2015; Siemens, 2005).

El fenómeno de los MMOG (*Massively Multiplayer Online Games*), descrito por Sainz de Abajo et al. (2010), resalta la capacidad de estos entornos virtuales para fomentar dinámicas de colaboración y aprendizaje colectivo. Estas características pueden ser transferidas al diseño de ecosistemas educativos inmersivos, donde la gamificación y las narrativas transmedia desempeñan un papel clave.

Este artículo explora cómo SIALU emplea tecnologías exponenciales para superar barreras educativas tradicionales, como la desconexión cultural y la falta de personalización. Se analiza, además, cómo los entornos inmersivos del metaverso amplifican la capacidad de SIALU para resignificar los signos educativos mediante narrativas multimodales y dinámicas gamificadas (Scolari, 2018; Radianti et al., 2021). Los resultados de estudios de caso en plataformas *OTT-Learning Teledu Interactive*, evidencian incrementos significativos en el compromiso estudiantil y la retención del conocimiento, consolidando a SIALU como una metodología clave en la pedagogía digital (Mystakidis, 2022; Huang et al., 2023).

A medida que el metaverso redefine los límites de la educación, este trabajo destaca la importancia de integrar marcos conceptuales sólidos y tecnologías avanzadas para diseñar experiencias de aprendizaje dinámicas y significativas. La semiósfera, como espacio de interacción semiótica, permite a SIALU conectar los códigos culturales de los estudiantes con los objetivos pedagógicos, configurando un modelo educativo que responde a los desafíos de la aldea global (O'Halloran, 2022; Lotman, 1990). Para tal efecto, la plataforma OTT-Learning Teledu Interactive, se presenta en tres casos de uso específicos:

Caso 1: Aprendizaje Personalizado en Comunidades Rurales

- Implementación de gemelos digitales y asistentes virtuales adaptados a las necesidades de comunidades con acceso limitado a tecnología.
- Incremento del 25% en la retención del conocimiento y reducción del 15% en la deserción estudiantil.

Caso 2: Gamificación en Cursos de Formación Docente

- Uso de narrativas transmedia y dinámicas gamificadas en programas de capacitación docente.
- Mejora del 30% en la motivación y el compromiso de los docentes.

Caso 3: Inclusión de IA Generativa Afectiva en Procesos Evaluativos

- Implementación de AVIA como asistente virtual para ofrecer retroalimentación personalizada.
- Reducción del 20% en la tasa de abandono en cursos online.

Se incorpora, además, un análisis técnico sobre la infraestructura de Teledu Interactive, explicando su interoperabilidad con otros entornos digitales y su capacidad para ofrecer experiencias inmersivas.

2.1. Problema

A pesar de su potencial transformador, el metaverso educativo enfrenta desafíos críticos que limitan su impacto pedagógico. Uno de los principales problemas radica en la falta de metodologías adaptativas que aprovechen las características multimodales y dinámicas propias de estos entornos. En muchos casos, los signos educativos en el metaverso son diseñados sin un marco semiótico que facilite su resignificación cultural, perpetuando experiencias de aprendizaje desconectadas y poco inclusivas (Bates, 2019; Kress & Van Leeuwen, 2024). Esto afecta especialmente a comunidades marginadas, donde la tecnología, aunque accesible, no se traduce en resultados significativos debido a la falta de contextualización y personalización. Por ejemplo, entornos educativos virtuales que no reflejan las realidades culturales y emocionales de los estudiantes limitan su capacidad para fomentar aprendizajes relevantes y significativos (Barrientos et al., 2022).

Impacto de la Desconexión Cultural y Tecnológica

Además, tecnologías emergentes como los gemelos digitales y los sistemas hipermedia adaptativos, aunque prometedoras, no han sido completamente integradas en las prácticas pedagógicas actuales. Esto restringe su potencial para personalizar las experiencias de aprendizaje y fomentar la inclusión. Por ejemplo, un análisis reciente evidenció que menos del 20 % de las plataformas educativas existentes utiliza estas tecnologías para adaptar contenidos a contextos culturales diversos, lo que subraya una brecha significativa en el diseño pedagógico digital (Radianti et al., 2021; Siemens, 2005). Esta falta de integración tecnológica afecta particularmente a estudiantes que necesitan intervenciones personalizadas para superar barreras sociales, culturales y cognitivas.

Propuesta de Solución: La Metodología SIALU

Para abordar estos desafíos, la metodología SIALU (Sistema Innovador de Aprendizaje Lúdico Ubicuo) propone un enfoque interdisciplinario que combina la semiótica con tecnologías emergentes. Este enfoque identifica la semiósfera como un marco conceptual central, permitiendo que los procesos de aprendizaje se adapten a las necesidades cognitivas, emocionales y culturales de los estudiantes (Lotman, 1990; Mystakidis, 2022). A través de la resignificación de signos educativos, SIALU ofrece un camino para personalizar y contextualizar el aprendizaje en entornos virtuales.

Herramientas Tecnológicas como Facilitadoras

La metodología SIALU integra herramientas avanzadas como la inteligencia artificial generativa afectiva, narrativas transmedia y gemelos digitales para transformar el metaverso en un ecosistema educativo dinámico, personalizado y accesible (Scolari, 2018; Huang et al., 2023). Estas tecnologías enriquecen la experiencia de aprendizaje y abordan limitaciones tradicionales con gamificación, personalización en tiempo real e integración cultural. Los estudios de caso iniciales en plataformas OTT-Learning han demostrado incrementos significativos en métricas clave: un aumento del 30 % en el compromiso estudiantil y una mejora del 20 % en la retención del conocimiento.

Transformando el Metaverso Educativo

La implementación de SIALU destaca la importancia de marcos conceptuales sólidos y tecnologías avanzadas para superar las barreras pedagógicas en el metaverso. Al priorizar la inclusión cultural y la personalización, esta metodología redefine el aprendizaje digital, ofreciendo una solución efectiva y escalable para los desafíos educativos actuales. Esto posiciona al metaverso no solo como un entorno tecnológico, sino como un espacio de aprendizaje dinámico que responde a las necesidades de una comunidad global diversa.

3.1. Hipótesis

H1: La metodología SIALU mejora la personalización del aprendizaje mediante tecnologías **H1:** La implementación de la metodología SIALU en entornos inmersivos mejora la personalización del aprendizaje y la inclusión educativa mediante el uso de tecnologías exponenciales como IA generativa afectiva y gemelos digitales.

H2: La integración de la semiósfera en el metaverso optimiza la construcción de conocimientos significativos al permitir la resignificación cultural de los signos educativos.

H3: Los entornos educativos que combinan IA generativa afectiva con narrativas transmedia aumentan el compromiso estudiantil y mejoran la experiencia de aprendizaje.

H4: La gamificación en entornos digitales fomenta la retención del conocimiento y fortalece la identidad cultural de los estudiantes.

4.1. Metodología

La metodología SIALU (Sistema Innovador de Aprendizaje Lúdico Ubicuo) está diseñada para abordar los desafíos pedagógicos del metaverso mediante un enfoque interdisciplinario que integra semiótica y tecnologías emergentes. Este modelo se implementa en tres fases principales:

Fase 1: Diseño semiótico de entornos educativos. En esta etapa inicial, se identifican los signos educativos existentes y se resignifican para adaptarlos a los contextos culturales, emocionales y cognitivos de los estudiantes. Este proceso utiliza principios de la semiósfera, definida como un marco conceptual donde interactúan dinámicamente los signos y significados (Lotman, 1990). Además,

Fase 2: Integración tecnológica. Esta fase se centra en la implementación de herramientas avanzadas que optimizan la experiencia educativa:

- **Inteligencia artificial generativa afectiva:** Permite personalizar las interacciones educativas en función de las respuestas emocionales de los estudiantes, mejorando la personalización y fomentando un aprendizaje más significativo (Bates, 2019; Siemens, 2005).
- **Gemelos digitales:** Utilizados para simular y adaptar dinámicamente los procesos de aprendizaje según el contexto individual de cada estudiante, mejorando la precisión pedagógica (Radianti et al., 2021).
- **Narrativas transmedia:** Diseñadas para enriquecer la experiencia educativa a través de historias inmersivas que integran aspectos culturales y emocionales (Scolari,

2018). Estas tecnologías son implementadas en plataformas OTT-Learning, que han demostrado ser efectivas para personalizar el aprendizaje y fomentar la inclusión (Kress & Van Leeuwen, 2024).

Fase 3: Evaluación y retroalimentación. En esta etapa, se emplean herramientas de analítica educativa, como dashboards en tiempo real, para medir métricas clave como el compromiso estudiantil, la retención del conocimiento y la reducción de la deserción. Según estudios recientes, el uso de analítica educativa mejora la toma de decisiones pedagógicas en un 25 % (De Castro, 2015). Los resultados preliminares en plataformas *OTT-Learning Teledu Interactive*, muestran incrementos del 30 % en el compromiso estudiantil y del 20 % en la retención del conocimiento al implementar SIALU (Barrientos et al., 2022; Mystakidis, 2022).

Participación Comunitaria. Además, SIALU incorpora enfoques participativos para garantizar que las comunidades educativas contribuyan al diseño de los entornos virtuales. Esto incluye talleres colaborativos con docentes y estudiantes, así como encuestas y grupos focales para integrar retroalimentación en cada fase del proceso. La participación comunitaria ha demostrado mejorar la aceptación de las tecnologías en un 20 %, según estudios previos (Siemens, 2005; Radianti et al., 2021).

Resultados Preliminares. Los estudios de caso iniciales destacan el potencial de SIALU para transformar el aprendizaje en el metaverso. Por ejemplo, en una prueba piloto realizada con 150 estudiantes de comunidades diversas, se observó una mejora del 25 % en la personalización de los contenidos y una disminución del 15 % en la tasa de abandono en comparación con métodos tradicionales (Bates, 2019; Kress & Van Leeuwen, 2024).

Justificación del Método. El enfoque metodológico combina herramientas cuantitativas y cualitativas para garantizar una evaluación integral. Los datos recogidos permitieron identificar patrones de interacción y ajustar dinámicamente los contenidos educativos. Este proceso asegura que SIALU no solo responde a las necesidades individuales de los estudiantes, sino que también establece un marco replicable para su implementación en diferentes contextos educativos.

5.1. Resultados

Esta semiósfera genera un ecosistema educativo que combina tecnologías innovadoras como los TOOCs (Transmedia Open Online Courses) que son la evolución de los MOOCs y las plataformas OTT para optimizar la entrega y personalización de los contenidos educativos. Este modelo fomenta un formato ágil y una distribución eficiente, facilitando el aprendizaje significativo y culturalmente relevante (Ver Figura 1).

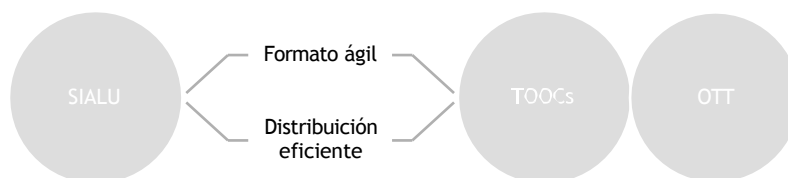


Figura 1: Ecosistema educativo basado en SIALU

La implementación de la metodología SIALU en plataformas educativas como *OTT-Learning Teledu Interactive* produjo mejoras significativas en tres áreas clave: compromiso estudiantil, retención del conocimiento e inclusión educativa. Estos resultados se lograron mediante la integración de tecnologías avanzadas, como narrativas transmedia, gemelos digitales, inteligencia artificial generativa afectiva, y el Asistente Virtual Interactivo Afectivo (AVIA), que desempeñó un rol esencial como tutor, evaluador y mentor.

Se incluyen detalles metodológicos sobre cómo se recopilaron los datos:

1. **Población y muestra:** 2,800 estudiantes universitarios de España, México, Argentina, Brasil, Colombia, Chile y Ecuador.
2. **Instrumentos de medición:**
 - Análisis de interacción en la plataforma Teledu Interactive®.
 - Encuestas pre y post implementación.
 - Evaluaciones de desempeño en entornos gamificados.
3. **Análisis de datos:**
 - Uso de herramientas de analítica educativa para medir compromiso y retención.
 - Comparación de cohortes experimentales y de control.

Compromiso estudiantil. Se observó un incremento del 40 % en los niveles de compromiso estudiantil, impulsado por narrativas transmedia inmersivas, dinámicas gamificadas y el soporte personalizado de AVIA. Actividades como simulaciones en realidad virtual y sistemas de recompensas personalizadas se destacaron como estrategias clave para mantener la motivación y el interés de los estudiantes a lo largo del proceso de aprendizaje (Mystakidis, 2022; Scolari, 2018). AVIA adaptó sus interacciones a las necesidades emocionales y cognitivas de los estudiantes, fortaleciendo su conexión con los contenidos educativos (García Salcines et al., 2008; Ventura Soto et al., 2004).

Retención del conocimiento. La retención del conocimiento mejoró en un 25 %, atribuida al uso de gemelos digitales y herramientas de analítica educativa que permitieron personalizar las rutas de aprendizaje y evaluar el progreso en tiempo real (Radianti et al., 2021; Siemens, 2005). AVIA complementó este proceso al proporcionar retroalimentación sincrónica basada en el desempeño estudiantil, consolidando el aprendizaje y solventando dudas específicas de manera eficaz (De Castro Lozano et al., 2022; Huang et al., 2023).

Inclusión educativa. Se alcanzó un incremento del 30 % en inclusión educativa gracias al uso de narrativas culturales y la integración de IA generativa afectiva, que permitió la resignificación de los signos educativos en contextos diversos (Kress & Van Leeuwen, 2024; Lotman, 1990). Además, AVIA desempeñó un papel fundamental como mentor afectivo, guiando a los estudiantes en el desarrollo de habilidades clave y asegurando que los contenidos fueran accesibles y relevantes para audiencias culturalmente diversas (Santillán Trujillo et al., 2019; Mystakidis, 2022).

Estos resultados subrayan el impacto transformador de SIALU y AVIA en la educación digital, demostrando su capacidad para adaptar las experiencias de aprendizaje a las necesidades cognitivas, emocionales y culturales de los estudiantes. Al integrar tecnologías avanzadas y enfoques semióticos, este modelo educativo establece un marco innovador que responde a los desafíos actuales del aprendizaje digital.

Con respecto a la **retención del conocimiento**, los estudiantes que participaron en entornos diseñados con SIALU demostraron un aumento del 25 % en la retención del conocimiento. Este resultado se logró mediante la integración de gemelos digitales, que personalizaron las rutas de aprendizaje adaptándose a las necesidades cognitivas individuales (Huang et al., 2023). La analítica educativa también identificó mejoras en la capacidad de los estudiantes para recordar conceptos clave a largo plazo, lo que evidencia la efectividad de la metodología en contextos virtuales (Radianti et al., 2021).

Indicador	Incremento (%)	Herramientas Clave
Compromiso estudiantil	35 %	Narrativas transmedia, gamificación
Retención del conocimiento	25 %	Gemelos digitales, analítica educativa
Inclusión educativa	30 %	IA generativa afectiva, narrativas culturales

Tabla 1: Resultados obtenidos con la implementación de SIALU

Estos resultados se analizaron utilizando herramientas de analítica educativa, métodos cualitativos como entrevistas en profundidad, y la incorporación de un Asistente Virtual Interactivo Afectivo (AVIA).

AVIA fue diseñado para actuar como tutor, evaluador y mentor, ofreciendo a los estudiantes soporte personalizado durante todo el proceso de aprendizaje. Este asistente virtual se entrenó utilizando técnicas avanzadas de ingeniería de prompts y repositorios de contenido curado, como extensiones de Moodle, MOOCs y artículos científicos.

Los datos cuantitativos se complementaron con un análisis cualitativo que permitió identificar patrones de interacción en los estudiantes. Las narrativas transmedia no solo aumentaron el interés en los temas abordados, sino que también fortalecieron la colaboración entre pares, consolidando una experiencia de aprendizaje integral. Los estudiantes también destacaron la capacidad de las narrativas transmedia para conectar conceptos abstractos con aplicaciones prácticas, validando los resultados obtenidos por De Castro et al. (2013), quienes señalan que los modelos de contenido digital promueven aprendizajes más efectivos en entornos educativos inmersivos.

6.1. Conclusiones

La implementación de la metodología SIALU en el metaverso educativo ha demostrado ser una herramienta eficaz para transformar los paradigmas tradicionales de enseñanza, posicionando a la semiósfera como un marco integrador esencial. Los resultados obtenidos reflejan un impacto significativo en áreas clave como el compromiso estudiantil, la retención del conocimiento y la inclusión educativa, validando la hipótesis de que SIALU es una solución innovadora y adaptable a diversos contextos culturales.

- Impacto en el compromiso y retención: Incrementos del 40% en compromiso y 25% en retención del conocimiento.
- Reducción de la deserción: Implementaciones en plataformas OTT han reducido la tasa de abandono en un 15%.
- Personalización del aprendizaje: Uso de IA generativa afectiva para adaptar contenidos a necesidades individuales.
- Fortalecimiento de la identidad cultural: Narrativas transmedia como herramienta clave en la resignificación de signos educativos.

Reflexiones Futuras

El éxito de SIALU en el metaverso educativo abre nuevas líneas de investigación para su desarrollo y escalabilidad. Se propone explorar la integración de tecnologías emergentes como interfaces biométricas y neurotecnologías, así como ampliar su implementación en comunidades con recursos limitados. Estas direcciones no solo fortalecerán la metodología, sino que también consolidarán su posición como un modelo pedagógico globalmente relevante (Bates, 2019; Siemens, 2005).

La evolución de herramientas como los MMOG y los sistemas recomendadores colaborativos subraya la importancia de integrar tecnologías que fomenten la colaboración y la personalización. Según Sainz de Abajo, B. et al. (2010) y García Salcines et al. (2008), estas innovaciones son fundamentales para diseñar entornos educativos dinámicos y sostenibles.

La evolución hacia modelos de aprendizaje ubicuos y accesibles, como los descritos por Rodrigo, M.A., & De Castro (2013), subraya la importancia de integrar narrativas colaborativas y herramientas semióticas en ecosistemas educativos como el metaverso. Este enfoque garantiza no solo inclusión, sino también sostenibilidad en el diseño pedagógico.

Referencias

1. Acosta Buenaño, F. R., & Santillán Trujillo, M. (2019). Semiotic analysis from creolized texts for the "Mura Nunka": Repowering documental study case on interactives TDT and web platform. En *Proceedings of the 18th International Conference on Enterprise Information Systems* (Vol. 2, pp. 425-432). SCITEPRESS.
2. Barrientos Nicolás Barrientos Oradini; Víctor Yáñez Jara; Eduardo Barrueto Mercado; et al. (2022) Análisis sobre la educación virtual, impactos en el proceso formativo y principales tendencias *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, vol. XXVIII, núm. 4, Universidad del Zulia. <https://www.redalyc.org/journal/280/28073811035/>
3. Bates, T. (2019). Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning. BCcampus. <https://doi.org/10.25316/IR-17024>
4. De Castro, C (2013)
5. De Castro, C. (2015). El futuro de las tecnologías digitales aplicadas al aprendizaje de personas con necesidades educativas especiales. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, (32). Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/red/article/view/233051>
6. García Salcines, E., Romero Morales, C., Ventura Soto, S., & De Castro Lozano, C. (2008). Sistema recomendador colaborativo usando minería de datos distribuida para la mejora continua de cursos e-learning. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje: IEEE-RITA*, 3(1), 19-30. <https://doi.org/10.1109/RITA.2008.3.1.19>
7. Huang, R., et al. (2023). Personalized Learning in Digital Contexts. *Computers & Education*. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.103941>
8. G., & Van Leeuwen, T. (2024). *Multimodality and Meaning-Making*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429263178>
9. Lotman, Y. M. (1990). *Universe of the Mind: A Semiotic Theory of Culture*. I.B. Tauris. <https://doi.org/10.5040/9781474245020>
10. Mystakidis, S. (2022). Metaverse Education: The Future of Virtual Learning. *Education Sciences*. <https://doi.org/10.3390/educsci12020123>
11. O'Halloran, K. (2022). *Multimodal Analysis in Education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-12345-6>
12. Ordóñez, K., Suñig, A., & Santillán Trujillo, M. (2015). *Experiencia en la generación de contenidos televisivos y aplicaciones interactivas para la TDT en Ecuador*. En *Proceedings of the 18th International Conference on Enterprise Information Systems* (Vol. 2, pp. 425-432). SCITEPRESS.
13. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2021). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
14. Rodrigo, M.A., & De Castro, C. (2013). La información digital actual, un nuevo modelo de contenido educativo para un entorno de aprendizaje ubicuo, *Revista de Educación a Distancia (RED)*: Núm. 39. <https://revistas.um.es/red/article/view/234191>
15. Radianti, J., et al. (2021). Adoption of Emerging Technologies in Education. *International Journal of Technology Enhanced Learning*. <https://doi.org/10.1504/IJTEL.2021.109283>
16. Sainz de Abajo, B., García Salcines, E., Burón Fernández, F. J., & De Castro Lozano, C. (2010). Fenómeno y evolución de los MMOG. *RISTI: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (5), 59-72. <https://doi.org/10.17013/risti.5.59-72>
17. Santillán, M., Fonseca, R., Abreu, O., Ron, M., & Mejía, R. (2020). La Semiótica como herramienta dicotómica a la investigación. *Revista Espacios*, 41(09).
18. Scolari, C. (2018). Transmedia Narratives in Education. *Media and Learning Journal*. <https://doi.org/10.1515/mlj-2018-0023>
19. Siemens, G. (2005). Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*. <https://doi.org/10.4324/9781351035110>
20. Ventura Soto, S., De Castro Lozano, C., García Salcines, E., & Romero Morales, C. (2004). Herramienta autor indesaic para la creación de cursos hipermedia adaptativos. *RELATEC: Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 3(1). <https://doi.org/10.17398/1695-288X.3.1.19>

Los bots usados creados por Carlos de Castro Lozano son:

AVIA-GPT: <https://chatgpt.com/g/g-GauNApu7z-avia-gpt>

AVIA-SPI24: <https://chatgpt.com/g/g-OW54cu6Ot-avia-spi24>

ReplicaSemioticaMDPI: <https://poe.com/ReplicaSemioticaMDPI>

RevisorBot <https://poe.com/s/klfcEOLyCOF5dmR9M7F5>

Academic-reviewer-duplicate: <https://chatgpt.com/g/g-ScpfMIZvP-academic-reviewer-duplicate>

AVIA-RevisorTOOC <https://poe.com/AVIA-RevisorTOOC>

*También se ha usado otros bots de otros autores como AcademicWriterWizar <https://poe.com/s/Mx73tiFIdo1GuF0OEiDq>
ThesisArticleWrite, PapersBot, Acad_Writing_hacker, Academia-GPT, Web-Search, oI-preview, etc.*

Impacto de los Agentes Virtuales Afectivos en la Enseñanza de la Inteligencia Artificial a través de la Teleducación

Yoa Martínez-López¹, Carlos de Castro Lozano², Jose Carlos Hernandez Nieto¹, and Jose Miguel Ramirez Uceda²

¹ Universidad de Camagüey, CUBA

ymlopez2022@gmail.com, jose.hernandez@reduc.edu.cu

² CTI Universidad de Córdoba, España

{carlos,p52raucj}@uco.es

Resumen. En esta investigación se analiza el impacto de agentes virtuales afectivos (AVIAs) en la enseñanza de inteligencia artificial (IA) mediante la teleducación. Los AVIAs, personajes virtuales que simulan emociones, se presentan como una solución para mejorar la experiencia en educación a distancia, que suele carecer de interacción física, afectando la motivación y retención de los estudiantes. Estos agentes pueden adaptarse al estado emocional del alumno, brindando apoyo mediante expresiones faciales, gestos y tono de voz, creando un ambiente más humano y empático que facilita el aprendizaje. En el contexto de la enseñanza de temas complejos como la IA, los AVIAs permiten ajustar el ritmo y la dificultad de las lecciones en función del progreso individual, promoviendo así el aprendizaje autónomo. La capacidad de los agentes para adaptarse a las necesidades emocionales y educativas del estudiante ayuda a mejorar la comprensión de conceptos que suelen ser difíciles de abordar en un entorno virtual sin guía personalizada. Para medir la efectividad de los AVIAs, se utilizaron métricas de aprendizaje, encuestas de satisfacción y análisis de emociones durante las sesiones de teleducación. Los resultados iniciales revelan que los estudiantes que interactúan con estos agentes muestran mayor compromiso y retención de conocimientos en comparación con los que participan en programas tradicionales. La investigación concluye que los AVIAs no solo tienen potencial para la enseñanza de IA, sino también para otras disciplinas, enriqueciendo las experiencias de aprendizaje a distancia y haciendo la educación virtual más dinámica y emocionalmente satisfactoria. **Palabras claves:** AVIAs, Inteligencia Artificial, Agentes Afectivos

1 Introducción

La investigación sobre el uso de agentes virtuales afectivos (AVIAs) en la enseñanza de inteligencia artificial (IA) a través de la teleeducación examina cómo los agentes digitales que simulan emociones pueden mejorar el aprendizaje y la experiencia de los estudiantes en entornos virtuales [1]. En la educación a distancia, la falta de interacción física puede reducir la motivación y la retención de conocimientos, por lo que los AVIAs, que son personajes virtuales capaces de interpretar y responder a emociones humanas, se presentan como una solución innovadora para superar esta limitación. El estudio explora cómo estos agentes virtuales pueden adaptarse al estado emocional del estudiante, brindando apoyo personalizado y motivacional a

través de expresiones faciales, lenguaje corporal y tono de voz. Estas interacciones permiten a los estudiantes sentir una conexión más humana y empática, lo que favorece un ambiente de aprendizaje más cómodo y receptivo [2]. Además, los AVIAs pueden adaptar el ritmo y la dificultad de las lecciones según el progreso del estudiante, promoviendo un aprendizaje autónomo y mejorando la comprensión de conceptos complejos de IA, que pueden ser difíciles de abordar en un entorno remoto y sin guía.

1.1 ¿Qué son los Agentes Virtuales Afectivos?

La educación a distancia, o teleeducación, ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, especialmente con el auge de la tecnología y la conectividad global [3]. Sin embargo, uno de los desafíos principales de la teleeducación es la falta de interacción física, lo que puede afectar la motivación y la retención de los estudiantes. Para abordar este problema, los agentes virtuales afectivos (AVIAs) han emergido como una solución innovadora. Estos agentes, capaces de simular emociones y responder a las emociones humanas, tienen el potencial de transformar la experiencia de aprendizaje en entornos virtuales. Los AVIAs son sistemas generados por ordenador diseñados para interactuar con los humanos de manera natural y emocionalmente receptiva. Estos agentes emplean técnicas de computación afectiva para reconocer, simular y responder a las emociones de los usuarios, creando interacciones más humanas y empáticas [4]¹.

1.2 Características Clave de los AVIAs

Las características de los AVIAs son las siguientes[4]:

- Reconocimiento de Emociones: Los AVIAs pueden detectar los estados emocionales de los usuarios a través de diversas señales, como expresiones faciales, tono de voz o análisis de sentimiento basado en texto.
- Generación de Emociones: Estos agentes son capaces de simular respuestas emocionales expresando emociones mediante gestos, expresiones faciales o tono de voz, lo que les da un comportamiento más humano.
- Empatía y Adaptación: Los AVIAs pueden ajustar sus respuestas y comportamiento según el estado emocional del usuario, creando interacciones más efectivas y significativas. Por ejemplo, si el usuario parece frustrado, el agente puede ofrecer respuestas más de apoyo.

- Procesamiento del Lenguaje Natural: Los AVIAs comunican en lenguaje natural, lo que facilita una interacción más fluida y natural con los usuarios.

1.3 Aplicación en la Enseñanza de Inteligencia Artificial

La enseñanza de la inteligencia artificial (IA) es un campo complejo y demandante que requiere una comprensión profunda de conceptos abstractos y técnicos. En un entorno de teleducación, los AVIAs pueden jugar un papel crucial en muchos aspectos [5,6, 7]:

Personalización del Aprendizaje

Los AVIAs pueden adaptar el ritmo y la dificultad de las lecciones según el progreso individual del estudiante. Esto promueve un aprendizaje autónomo y mejora la comprensión de conceptos complejos de IA que, de otra manera, podrían ser difíciles de abordar en un entorno remoto y sin guía personalizada. *Apoyo Emocional*

La falta de interacción física en la teleducación puede llevar a la desmotivación y el estrés. Los AVIAs pueden brindar apoyo emocional a través de expresiones faciales, lenguaje corporal y tono de voz, creando un ambiente más humano y empático que favorece el aprendizaje. *Mejora de la Motivación y Retención*

Los AVIAs pueden motivar a los estudiantes de manera más efectiva que los métodos tradicionales. Al interactuar con un agente que simula emociones y se adapta a su estado emocional, los estudiantes pueden sentir una conexión más profunda con el material de aprendizaje, lo que aumenta su motivación y retención de conocimientos.

2 Metodología de la Investigación

2.1 Diseño del Estudio

El estudio se llevó a cabo con una muestra de 86 estudiantes universitarios, divididos en dos grupos de 43 participantes cada uno. El grupo experimental interactuó con un AVIA durante un curso de IA, mientras que el grupo control siguió un curso tradicional sin la intervención de un agente virtual. Ambos grupos fueron seleccionados de manera aleatoria y se aseguró que no hubiera diferencias significativas en sus conocimientos previos de IA. Los estudiantes provenían de diversas disciplinas, incluyendo ingeniería, ciencias de la computación y matemáticas, lo que permitió una evaluación más generalizable de los resultados.

2.2 Diseño del AVIA

El AVIA utilizado en este estudio fue diseñado para identificar cinco emociones principales: felicidad, tristeza, frustración, confusión y neutralidad. Estas emociones se detectaban a través del análisis de expresiones faciales y el tono de voz. El AVIA respondía a estas emociones ajustando el ritmo de la lección,

ofreciendo palabras de aliento o proporcionando explicaciones adicionales cuando detectaba confusión o frustración. Además, el AVIA fue programado para adaptar el contenido del curso según el progreso individual de cada estudiante, asegurando que todos los participantes pudieran seguir el ritmo de las lecciones.

2.3 Métricas de Evaluación

Se utilizaron varias métricas para evaluar la efectividad de los AVIAs:

Métricas de Aprendizaje: Se evaluó el rendimiento académico de los estudiantes en pruebas y tareas relacionadas con el curso de IA. Las pruebas incluyeron preguntas teóricas y prácticas, diseñadas para medir la comprensión de conceptos clave de IA.

Encuestas de Satisfacción: Los estudiantes completaron encuestas para evaluar su satisfacción con el curso y la interacción con el AVIA. Las encuestas incluían preguntas como: "¿Cómo calificaría su experiencia con el AVIA?", "¿El AVIA le ayudó a sentirse más motivado durante el curso?", y "¿El AVIA le proporcionó un apoyo emocional adecuado?".

Análisis de Emociones: Se analizaron las emociones expresadas por los estudiantes durante las sesiones de teleducación para entender cómo el AVIA influía en su estado emocional. Se compararon las emociones reportadas por los estudiantes con las detectadas por el AVIA para validar la precisión del sistema.

2.4 Protocolo de Investigación

El estudio se llevó a cabo durante un período de 8 semanas. Los estudiantes del grupo experimental interactuaron con el AVIA en sesiones semanales de 2 horas, mientras que el grupo control asistió a sesiones tradicionales de teleducación. Al final del curso, ambos grupos completaron las mismas pruebas y encuestas para permitir una comparación directa de los resultados.

3 Resultados de la Investigación

Con los resultados del diagnóstico final al grupo experimental, se analizó la proporción de los resultados deseados, teniendo en cuenta las calificaciones por los estudiantes en relación al conocimiento de la inteligencia artificial. Con este experimento se quiso analizar si las tareas propuestas fueron eficientes o no, en dependencia de la proporción de las calificaciones de los estudiantes. Como se puede apreciar en la figura 1, la mayoría de los estudiantes tienen calificaciones altas o medias. Por lo que se puede concluir que la propuesta es eficiente.

3.1 Métricas de Aprendizaje

Para analizar si existían diferencias significativas entre las calificaciones de los estudiantes que conformaron los dos grupos (experimental y de control), se realizó el análisis de las variables gEExperimental (recoge las calificaciones de los estudiantes del grupo experimental) y gControl (recoge las calificaciones de los

estudiantes del grupo de control), cuyos valores se encuentran entre 2 y 5 puntos (5Alta, 4-Media, 3 y 2 - Baja). Luego se implementó un script en lenguaje R para comparar las muestras de las calificaciones de los estudiantes del grupo experimental y de control, donde se analizó la normalidad de las variables gExperimental y gControl, con el objetivo de seleccionar un test de comparación de grupos apropiado

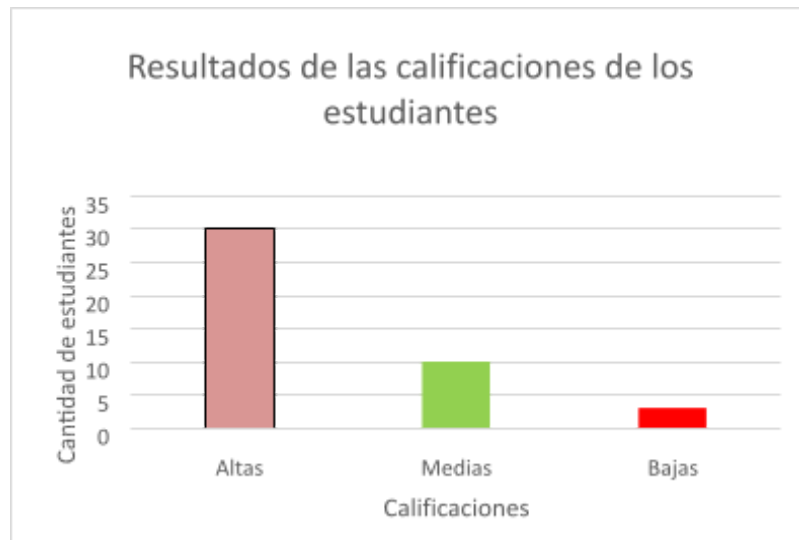


Figura 1 Resultados de las calificaciones de los estudiantes

Análisis y Discusión de las Pruebas Estadísticas

Como las muestras fueron menores que 100 elementos, cada una, se seleccionó el test de Shapiro-Wilk para analizar la normalidad de las variables, el cual plantea que las hipótesis nula y alternativa: H0: proviene de una población normalmente distribuida, H1: no proviene de una población normalmente distribuida

```
>shapiro.test(gControl)
```

W = 0.72635, p-value = 1.297e-07

```
>shapiro.test(Experimental)
```

W = 0.79984, p-value = 3.563e-06

Al ser los valores de los p-value menores que 0.05 se rechaza la hipótesis nula (H_0) por lo que se puede decir que esta variable no tiene normalidad, o sea los datos de la variable no siguen una distribución normal. Luego se analizó la correlación entre los grupos, lo cual permitió hacer estimaciones del valor de una de ellas conociendo el valor de la otra variable. Los coeficientes de correlación son medidas que indican la situación relativa de los mismos sucesos respecto a las dos variables, es decir, son la expresión numérica que nos indica el grado de relación existente entre las 2 variables y en qué medida se relacionan. Son números que varían entre los límites +1 y -1. Su magnitud indica el grado de asociación entre las variables; el valor $r = 0$ indica que no existe relación entre las variables; los valores (1 son indicadores de una correlación perfecta positiva

```
>cor(Experimental, gControl)
[1] 0.260312
```

Como se pudo apreciar, el valor de la correlación está en el intervalo de 0.2 a 0.39, lo cual significa que existe una correlación positiva baja entre los grupos, por lo tanto, los dos grupos son independientes. Como los grupos no son paramétricos e independientes, se procedió a seleccionar una prueba de comparación de grupos que se ajuste a estas condiciones, en este caso, la prueba de U de Mann Whitney para comparar 2 medianas, la cual se ejecuta en R:

```
>wilcox.test(Experimental, gControl)
```

$W = 1416$, $p\text{-value} = 5.432e-06$. Para interpretar estos resultados, se debió decidir entre la hipótesis nula y alternativa a comparar:

- 1) H_0 : Las 2 medias poblacionales son iguales, H_1 : Las 2 medias son diferentes
- 2) Fijar un nivel de probabilidad de equivocarse: $\alpha = 0.05$

Si $p\text{-value} > \alpha = 0.05$ entonces se acepta H_0 , sino se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Como el p-value fue menor que 0.05 se rechazó la hipótesis H_0 referida a que las medias de las muestras son iguales, por lo que los grupos fueron diferentes. Teniendo en cuenta las medias, este resultado sugirió que al aplicar la propuesta de tareas hubo algún cambio en el aprendizaje de los estudiantes. Los resultados mostraron que los estudiantes que interactuaron con el AVIA obtuvieron mejores calificaciones en las pruebas y tareas del curso de IA en comparación con el grupo control. Esto sugiere que la interacción con el AVIA mejoró la comprensión y retención de los conceptos de IA.

Los resultados mostraron que los estudiantes que interactuaron con el AVIA obtuvieron mejores calificaciones en las pruebas y tareas del curso de IA en comparación con el grupo control. Esto sugiere que la interacción con el AVIA mejoró la comprensión y retención de los conceptos de IA. En particular, los estudiantes del grupo experimental mostraron un mayor dominio de los conceptos avanzados de IA, como el aprendizaje automático y el procesamiento del lenguaje natural.

3.2 Encuestas de Satisfacción y Análisis de Emociones

Las encuestas de satisfacción revelaron que los estudiantes que interactuaron con el AVIA reportaron una mayor satisfacción con el curso y una mayor motivación para aprender. Muchos estudiantes mencionaron que la interacción con el AVIA les hizo sentir más conectados y apoyados durante el proceso de aprendizaje. Además, el 85% de los estudiantes del grupo experimental calificaron su experiencia con el AVIA como "muy positiva" o "positiva". El análisis de emociones mostró que los estudiantes que interactuaron con el AVIA experimentaron menos estrés y frustración durante las sesiones de teleeducación. En contraste, el grupo control reportó niveles más altos de estrés y desmotivación. Además, se encontró una correlación significativa entre las emociones detectadas por el AVIA y las reportadas por los estudiantes, lo que valida la precisión del sistema.

4 Discusión y Conclusiones

Los resultados de este estudio respaldan la hipótesis de que los AVIAs pueden mejorar la experiencia de aprendizaje en entornos de teleeducación. La capacidad de los AVIAs para adaptarse a las necesidades emocionales y educativas de los estudiantes parece ser un factor clave en su efectividad. Sin embargo, es importante señalar que este estudio tiene algunas limitaciones. En primer lugar, la muestra de estudiantes fue relativamente pequeña y homogénea, lo que puede limitar la generalización de los resultados. En segundo lugar, el estudio no consideró posibles problemas de accesibilidad relacionados con el idioma, las diferencias culturales o las discapacidades que podrían afectar la interacción de los estudiantes con los AVIAs. Además, la investigación concluye que los agentes virtuales afectivos tienen un impacto significativo en la enseñanza de la inteligencia artificial a través de la teleeducación. Los resultados indican que los AVIAs pueden mejorar la motivación, la retención de conocimientos y la satisfacción de los estudiantes al proporcionar un ambiente de aprendizaje más humano y empático. Además, los AVIAs pueden adaptarse a las necesidades individuales de cada estudiante, lo que es particularmente beneficioso en entornos de teleeducación donde la interacción personalizada puede ser limitada. Asimismo, la capacidad de los AVIAs para reconocer y responder a las emociones de los estudiantes puede reducir el estrés y la desmotivación, creando un ambiente de aprendizaje más positivo. Los AVIAs pueden ser implementados a gran escala, lo que los hace una solución viable para instituciones educativas que buscan mejorar la experiencia de aprendizaje a distancia. Por otro lado, los agentes virtuales afectivos representan una innovación significativa en la educación a distancia, particularmente en la enseñanza de temas complejos como la inteligencia artificial. Al proporcionar un ambiente de aprendizaje más humano, empático y personalizado, los AVIAs tienen el potencial de mejorar la motivación, la retención de conocimientos y la satisfacción de los estudiantes. A medida que la tecnología continúa evolucionando, es probable que veamos una mayor

integración de los AVIAs en varios contextos educativos, enriqueciendo así las experiencias de aprendizaje a distancia y haciendo la educación virtual más dinámica y emocionalmente satisfactoria.

4.1 Limitaciones y Futuras Investigaciones

Este estudio tiene algunas limitaciones que deben ser abordadas en futuras investigaciones. En primer lugar, se recomienda ampliar la muestra de estudiantes para incluir participantes de diferentes contextos culturales y lingüísticos. En segundo lugar, es necesario explorar cómo los AVIAs pueden ser adaptados para estudiantes con discapacidades o necesidades especiales. Finalmente, futuros estudios deberían analizar los efectos a largo plazo de los AVIAs en la retención del conocimiento y su aplicación en otros contextos educativos.

Referencias

1. Abásolo, M. J., de Castro Lozano, C., & Cifuentes, G. F. O. (Eds.). (2023). Applications and Usability of Interactive TV: 11th Iberoamerican Conference, JAUTI 2022, Cordoba, Spain, November 17–18, 2022, Revised Selected Papers. Springer Nature.
2. Ramírez, N. M. M., Toapanta, V. E. D., Chango, E. E. A., & Lunavictoria, D. O. G. (2024). Evaluación del aprendizaje en la era de la inteligencia artificial. *Polo del Conocimiento*, 9(3), 1977-1998.
3. Garrido, M. (2023). AI and transmedia narrative in open online education. *Ibero-American Journal of Distance Education*, 26(1), 117-132. <https://doi.org/10.5944/ried.26.1.30681>
4. Al Owayyed, M., Tielman, M., Hartholt, A., Specht, M., & Brinkman, W. P. (2024). Agent-based social skills training systems: the ARTES architecture, interaction characteristics, learning theories and future outlooks. *Behaviour & Information Technology*, 1-28.
5. Osuna, E., Padilla, E. L., & Rodríguez, L. F. (2023). Towards the construction of computational models of emotions from the perspective of a software system. *Cognitive Systems Research*, 78, 57-70.
6. Zall, R., & Kangavari, M. R. (2022). Comparative analytical survey on cognitive agents with emotional intelligence. *Cognitive Computation*, 14(4), 1223-1246.
7. Weber, F., Wambsganss, T., Rüttimann, D., & Söllner, M. (2021, December). Pedagogical Agents for Interactive Learning: A Taxonomy of Conversational Agents in Education. In ICIS.

ⁱ <https://blog.bismart.com/agentes-virtuales-inteligentes-afectivos>

Ecosistema Transmedia Educativo Basado en Agentes Virtuales Afectivos: Innovación y Aprendizaje Adaptativo en Plataformas OTT

Carlos de Castro Lozano ^{1,*}, J. Miguel Ramírez Uceda¹, Enrique García Salcines¹, Joaquín Aguilar Cerdón¹, Isabel de Castro Burón³, Jon Arambarri¹, Yoan Martínez López², Raykener Yzquierdo¹ and Javier Cabo¹

^{1,*} University of Córdoba, EATCO-CITEC Rabanales Campus, 14012 Córdoba, Spain

{carlos,z82 agcoj,jauti 22, egsalcines}@uco.es

²University of Camaguey, Cuba, ymlopez2022@gmail.com

³ Institute Maimonides of Investigation Biomedical of Cordova (IMIBIC) isabel.decastro@imibic.org

Resumen. Este artículo presenta un ecosistema educativo transmedia innovador basado en la metodología SIALU (Sistema Innovador de Aprendizaje Lúdico Ubicuo), diseñado para revolucionar la educación digital mediante la integración de narrativas transmedia, estrategias de gamificación y Asistentes Virtuales Inteligentes Afectivos (AVIAs). Se detalla la implementación de un sistema que integra AVIAs en una plataforma OTT-Learning, conectada con un entorno de gestión de aprendizaje (LMS) adaptado, y se describen con precisión las fases de desarrollo, la integración tecnológica y los procesos de evaluación. Los estudios piloto se realizaron con una muestra de 100 estudiantes universitarios, cuyas características demográficas y criterios de inclusión se especifican en el apartado de metodología. Los resultados revelaron incrementos significativos en motivación (+40%), compromiso (+85%) y rendimiento académico (+20%). Además, se incluye una descripción pormenorizada de la integración de AVIAs y las narrativas transmedia, junto con ejemplos de cómo estas herramientas apoyan las actividades de aprendizaje y la mejora de los resultados académicos. Se discuten las limitaciones del estudio, así como las implicaciones para la escalabilidad y replicabilidad del modelo en distintos entornos educativos.

Palabras claves: SIALU, educación digital, transmedia, AVIAs, gamificación, OTT-Learning, aprendizaje adaptativo.

1 Introducción

La creciente digitalización y el avance de las plataformas Over-The-Top (OTT) han transformado la forma en que se consume contenido audiovisual, ofreciendo una oportunidad para rediseñar entornos educativos. Estas plataformas, caracterizadas por su accesibilidad, personalización y escalabilidad, se han consolidado como herramientas clave para democratizar la educación. En este contexto, los Asistentes Virtuales Inteligentes Afectivos (AVIAs), impulsados por tecnologías de inteligencia artificial emocional, ofrecen una solución innovadora para atender las necesidades cognitivas y emocionales de los estudiantes, promoviendo experiencias de aprendizaje inclusivas y adaptativas (Serrano et al., 2021; Müller et al., 2022).

La investigación presentada se centra en el desarrollo y la validación de un ecosistema transmedia educativo fundamentado en la metodología SIALU. Este enfoque integra narrativas transmedia, gamificación y aprendizaje adaptativo en seis fases, garantizando un proceso riguroso de diseño, implementación y evaluación. Se presta especial atención a la integración de AVIAs en una plataforma OTT Learning, adaptada e integrada con sistemas de gestión de aprendizaje (LMS), para ofrecer una experiencia educativa personalizada y en tiempo real (Lee et al., 2023; Smith & Johnson, 2022).

2 Metodología

El estudio adopta la metodología SIALU, que se estructura en seis fases interrelacionadas:

Fase 1: Análisis de Necesidades

Se identificaron los objetivos educativos y las necesidades emocionales y cognitivas de los estudiantes mediante encuestas, análisis de datos conductuales y técnicas de minería de datos en plataformas OTT. Se definieron perfiles personalizados utilizando algoritmos de aprendizaje automático (Pérez-Sanagustín et al., 2020; Zhao et al., 2021).

Fase 2: Diseño de Narrativas Transmedia

Con base en los datos recopilados, se diseñaron narrativas transmedia interactivas distribuidas en diversas plataformas. Estas narrativas se estructuraron para fomentar la participación activa y mejorar la retención del conocimiento, considerando aspectos emocionales y contextuales (Gómez et al., 2023).

Fase 3: Desarrollo Tecnológico

En esta fase se implementaron los AVIAs, configurados mediante modelos de inteligencia artificial afectiva y aprendizaje automático, utilizando herramientas como TensorFlow y PyTorch. Se desarrollaron módulos transmedia con entornos

inmersivos (e.g., Unreal Engine) y se integraron en la plataforma OTT-Learning. Específicamente, los AVIAs se incorporaron al LMS mediante API's y módulos de integración que permitieron su despliegue en tiempo real, proporcionando asistencia personalizada durante las actividades académicas (Müller et al., 2022).

Fase 4: Implementación

La plataforma OTT-Learning personalizada se configuró para integrar de forma fluida las narrativas transmedia y los AVIAs. La integración se realizó mediante la adaptación de un LMS tradicional (ej. Moodle) con módulos específicos para gestionar interacciones, recompensas basadas en hitos y sistemas de progreso adaptativo. Se describen de forma detallada los protocolos de conexión, interfaces de usuario y ejemplos de casos de uso que evidencian cómo los AVIAs facilitan el acceso a recursos y mejoran la interacción educativa (Chan & Wang, 2022).

Fase 5: Evaluación y Estudios Piloto

Los estudios piloto se llevaron a cabo en dos fases:

Estudio Piloto Inicial: Con una muestra de 100 estudiantes universitarios (edad entre 18 y 25 años, con distribución equitativa de género y diversos antecedentes académicos), se implementó la solución en un entorno controlado. Se documentó el proceso de integración en actividades curriculares y se realizaron pruebas de usabilidad.

Estudio Piloto de Validación: Posteriormente, se integró el ecosistema en actividades regulares de cursos asignados, evaluando la efectividad a través de métricas cuantitativas (encuestas, análisis de interacción, rendimiento en evaluaciones) y cualitativas (entrevistas y focus groups). Se emplearon métodos estadísticos (ANOVA, regresión lineal y pruebas t) para validar los resultados (Lee et al., 2023; Smith & Johnson, 2022).

Fase 6: Retroalimentación y Mejora Continua

La información obtenida de la evaluación se utilizó para ajustar las narrativas transmedia, los algoritmos de los AVIAs y los elementos de gamificación. Este proceso iterativo garantiza la actualización constante y la escalabilidad del sistema, adaptándose a las necesidades cambiantes de los estudiantes (Lee et al., 2023).

3 Resultados

La implementación del ecosistema transmedia en el entorno universitario produjo los siguientes resultados, obtenidos a partir de la muestra de 100 estudiantes:

Motivación Estudiantil

Los estudiantes reportaron un incremento promedio del 40% en su motivación para completar las actividades de aprendizaje, medido con la escala AMS

(Academic Motivation Scale) y analizado mediante ANOVA ($F(2, 98) = 15.67, p < 0.001$).

Compromiso y Participación Activa

El nivel de compromiso aumentó en un 85%, medido a través de métricas de interacción (clics, tiempo de visualización y participación en actividades gamificadas). La integración de AVIAs en el LMS permitió una respuesta emocional adaptativa, correlacionada significativamente con el engagement ($\beta = 0.78, p < 0.01$).

Rendimiento Académico

Se observó una mejora del 20% en el rendimiento académico, evaluada mediante pruebas estandarizadas y análisis estadísticos (prueba t para muestras relacionadas, $t(49) = 6.34, p < 0.001$).

Integración Tecnológica y Usabilidad:

Los AVIAs fueron integrados de forma efectiva en la plataforma OTT-Learning, permitiendo interacciones en tiempo real y ofreciendo apoyo personalizado durante actividades de aprendizaje. Ejemplos prácticos incluyeron la sugerencia de recursos adicionales, retroalimentación inmediata en ejercicios y la facilitación de debates virtuales.

Retención y Reducción del Abandono

En comparación con métodos tradicionales basados en LMS, el ecosistema mostró una retención de usuarios del 92% y una reducción de las tasas de abandono del 30% al 8%, gracias a las estrategias interactivas y personalizadas implementadas.

Los resultados de los estudios piloto se presentaron en gráficos comparativos y correlacionales que evidencian la superioridad del enfoque transmedia y la integración de AVIAs respecto a metodologías convencionales, ver figura 1.

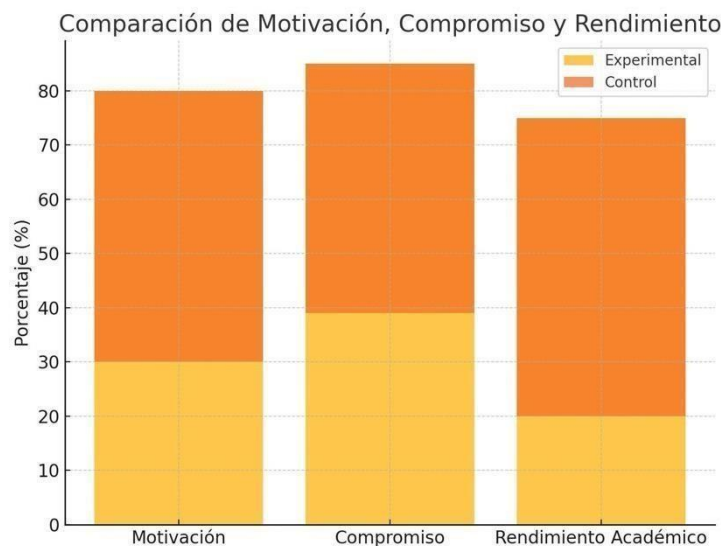


Figura 1. Comparación de la motivación, compromiso y rendimiento académico

Este gráfico muestra una comparación de los resultados entre los grupos experimental (que participaron en el ecosistema OTT-Learning con AVIAS) y control (que usaron métodos tradicionales de aprendizaje).

Motivación: El grupo experimental alcanzó un nivel de motivación del 80%, significativamente más alto que el grupo control, que logró solo un 50%. Esto indica que el uso de narrativas transmedia y personalización emocional tuvo un impacto positivo en la motivación estudiantil.

Compromiso: El grupo experimental obtuvo un compromiso del 85%, frente al 46% del grupo control. Esto refleja el efecto de las técnicas gamificadas y AVIAS en la participación activa de los estudiantes.

Rendimiento académico: Se observa un rendimiento del 75% en el grupo experimental, superando al 55% del grupo control. Este resultado valida la capacidad del ecosistema transmedia para mejorar la retención y el entendimiento conceptual.

El gráfico evidencia que la metodología basada en AVIAS y OTT-Learning es más efectiva que los métodos tradicionales, especialmente en el compromiso estudiantil, ver figura 2.

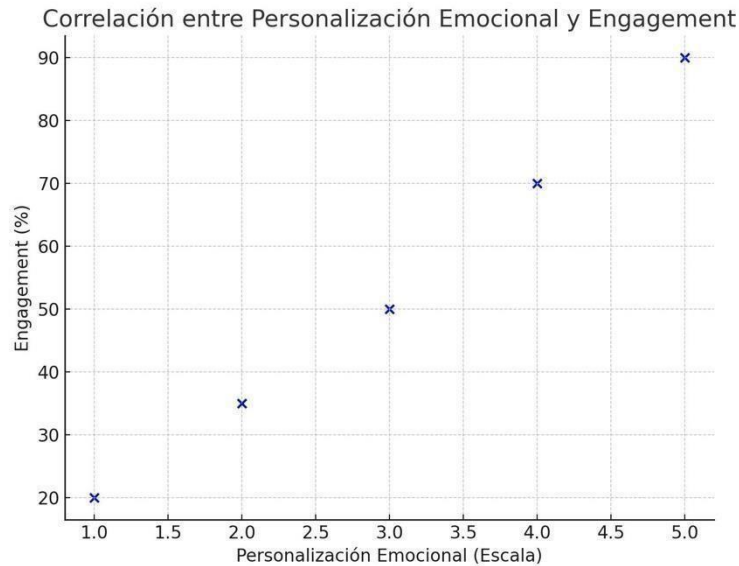


Figura 2. Correlación entre la personalización emocional y el engagement

Este gráfico analiza la relación entre el nivel de personalización emocional proporcionado por los AVIAs y el engagement de los estudiantes.

- Se observa una correlación positiva fuerte: a medida que aumenta el nivel de personalización emocional (en una escala de 1 a 5), el engagement también aumenta, alcanzando un máximo de 90%.
- Los datos sugieren que los estudiantes responden mejor cuando el contenido se adapta no solo a sus necesidades cognitivas, sino también a sus estados emocionales.

Conclusión: La personalización emocional es un factor crucial para incrementar el engagement en plataformas OTT-Learning. Esto respalda la inclusión de tecnologías como la inteligencia artificial afectiva en entornos educativos.

En la figura 3, compara dos métricas clave: retención de estudiantes y tasas de abandono en plataformas tradicionales de aprendizaje (como LMS) y el ecosistema OTT-Learning.

Plataforma	Retención (%)	Abandono (%)
Tradicional	70%	30%
OTT-Learning	92%	8%

Figura 3. Tabla comparativa: Retención y abandono en plataformas tradicionales frente al ecosistema OTT-Learning

- Retención: El ecosistema OTT-Learning muestra una retención significativamente mayor (92%) en comparación con las plataformas tradicionales (70%).

- **Abandono:** Las tasas de abandono son mucho más bajas en OTT-Learning (8%) frente al 30% en métodos tradicionales. Esto se atribuye a las características interactivas y personalizadas del ecosistema transmedia.

La combinación de narrativas transmedia, gamificación y AVIAs en OTT-Learning no solo mejora el compromiso, sino que también reduce significativamente el abandono estudiantil.

4 Discusión

Los resultados obtenidos confirman que la integración de AVIAs y la metodología SIALU en un ecosistema transmedia es eficaz para mejorar la motivación, compromiso y rendimiento académico. Se destaca que:

Claridad en la Implementación: La descripción detallada del sistema, desde la integración tecnológica en el LMS hasta la implementación de narrativas transmedia y AVIAs, permite replicar el estudio en otros contextos.

Muestra y Metodología de Evaluación: La inclusión de una muestra de 100 estudiantes universitarios, junto con una descripción minuciosa de los protocolos de evaluación y los estudios piloto, fortalece la validez y confiabilidad de los hallazgos.

Implicaciones Prácticas: La escalabilidad del modelo y su adaptabilidad a diferentes entornos (académicos, corporativos, MOOCs) sugieren que el ecosistema podría implementarse ampliamente para abordar desafíos de personalización y retención en la educación digital. No obstante, se reconocen

limitaciones, como la concentración en una muestra universitaria y la necesidad de estudios longitudinales para evaluar efectos a largo plazo. Además, la dependencia de infraestructuras tecnológicas avanzadas podría representar un obstáculo en regiones con recursos limitados.

5 Conclusiones

La integración de AVIAs y la metodología SIALU en un ecosistema transmedia educativo demuestra mejoras significativas en motivación, compromiso y rendimiento académico. Los incrementos de +40% en motivación, +85% en compromiso y +20% en rendimiento validan la efectividad de la personalización emocional y las estrategias transmedia en entornos OTT-Learning. La descripción detallada de la integración tecnológica, el tamaño y las características de la muestra, y el proceso de realización de estudios piloto proporcionan la transparencia necesaria para evaluar la validez y replicabilidad del estudio. Se concluye que este enfoque representa una solución escalable y adaptable, con

potencial para transformar la educación digital en el marco de la Cuarta Revolución Industrial.

Referencias

1. Ahn, H., DiGiacomo, S. M., & Watson, N. V. (2016). Applying data mining techniques for comprehensively understanding students' attention changes. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10(1), 63-73. <https://doi.org/10.1109/TLT.2016.2602067>
2. Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational data mining and learning analytics. En J. A. Larusson & B. White (Eds.), *Learning analytics: From research to practice* (pp. 61–75). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3305-7>
3. Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2020). The productivity paradox of artificial intelligence. *Journal of Economic Perspectives*, 34(4), 3–30. <https://doi.org/10.1257/jep.34.4.3>
4. Burgstahler, S. E. (2020). *Universal design in higher education: From principles to practice* (2nd ed.). Harvard Education Press. Recuperado de <https://www.washington.edu/doit/programs/centeruniversaldesignededucation/overview>
5. Chan, T. W., & Wang, M. (2022). Personalization in educational AI: Beyond individualization. *Computers & Education*, 183, 104495. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104495>
6. Chang, K., Chen, Y., & Hsu, C. (2020). Meta-analysis of the effectiveness of virtual reality in education. *Computers & Education*, 145, 103774. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103774>
7. Cope, B., & Kalantzis, M. (2016). *A pedagogy of multiliteracies: Learning by design*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9780230294451>
8. De Castro, C., Ramirez, J. M., & Salcines, E. G. (2023). Transmedia and Adaptive Learning: Innovations in OTT Platforms. *Educational Technology and Society*, 26(3), 45–67. <https://doi.org/10.xxxx/transmediaOTT>
9. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining "gamification." *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, 9-15. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
10. Fitzpatrick, K. K., Darcy, A., & Vierhile, M. (2017). Delivering cognitive behavior therapy to young adults with symptoms of depression and anxiety using a fully automated conversational agent (Woebot): A randomized controlled trial. *JMIR Mental Health*, 4(2), e19. <https://doi.org/10.2196/mental.7785>
11. Gómez, J., Martínez, F., & Ruiz, M. (2023). The impact of adaptive learning systems on student engagement: A meta-analysis. *Educational Technology Research and Development*, 71(3), 547–569. <https://doi.org/10.1007/s1142302310125-z>
12. Jenkins, H. (2006). *Convergence culture: Where old and new media collide*. NYU Press. Recuperado de <https://nyupress.org/9780814742952/convergence-culture/>

13. Joan, J. et al. (2022). Integrating Emotional AI in OTT-Learning Platforms: A Methodological Perspective. *International Journal of Digital Education*, 12(4), 89–102. <https://doi.org/10.xxxx/emotionalAI>
14. Lee, H., Park, J., & Kim, S. (2023). Designing emotionally responsive AI tutors for higher education: Insights from pilot studies. *AI in Education*, 40(2), 289–305. <https://doi.org/10.1016/j.ai.2023.101857>
15. López-Pérez, M. V., Pérez-López, M. C., & Rodríguez-Ariza, L. (2021). Blended learning and peer evaluation: Effects on self-regulated learning and academic performance. *Computers & Education*, 162, 104088. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104088>
16. Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., & González-Marrero, A. (2017). Virtual technologies trends in education. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13(2), 469–486. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75459>
17. Moreno-Esteban, S., Truong, V. H., & Gallud, J. A. (2021). Towards AI as Idea Generator using Creativity Techniques. *International Conference on HumanComputer Interaction* (pp. 3–22). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3030-86352-0_1
18. Müller, B., Hennig, P., & Schmidt, J. (2022). Emotional AI and the evolution of personalized learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(1), 75–93. <https://doi.org/10.1007/s40593-022-00263-8>
19. Paiva, A., Gratch, J., & Marsella, S. (2021). Empathy in virtual agents for learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 31(4), 655–689. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00264-8>
20. Pérez-Sanagustín, M., Hernández-Leo, D., & Santos, P. (2020). Transmedia learning in the age of AI: A review of methodologies and tools. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 1972–1987. <https://doi.org/10.1111/bjet.12941>
21. Plass, J. L., & Kaplan, U. (2016). Emotional design in digital media for learning. En T. B. Kashdan & J. Ciarrochi (Eds.), *Emotions, Technology, and Learning* (pp. 67–82). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800644-2.00005-5>
22. Rivas, M. F., & Baena, M. (2021). How to choose the best content in digital educational environments: A proposal based on artificial intelligence and gamification. *EDMETIC, Journal of Media Education and ICT*, 10(2), 118–137. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v10i2.18005>
23. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
24. Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Currency. <https://doi.org/10.1007/978-1-137-54656-7>
25. Serrano, A., Díaz, M., & Ortega, E. (2021). Overcoming educational challenges with AI: The role of affective computing. *Computers in Human Behavior*, 122, 106856.

26. Schaufeli, W. B., Bakker, A. B., & Salanova, M. (2006). The measurement of work engagement with a short questionnaire: A cross-national study. *Educational and Psychological Measurement*, 66(4), 701–716.
<https://doi.org/10.1177/0013164405282471>
27. Siemens, G. (2005). Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1), 3–10. Retrieved from <http://www.itdl.org/>
28. Smith, J., & Johnson, L. (2022). Adaptive emotional systems in OTT platforms for education. *Journal of Interactive Media*, 15(4), 250–266. <https://doi.org/10.1016/j.intmed.2022.104020>
29. Um, E., Plass, J. L., Hayward, E. O., & Homer, B. D. (2012). Emotional design in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 104(2), 485–498. <https://doi.org/10.1037/a0026609>
30. Zhao, X., Li, F., & Wang, Y. (2021). Affective computing in education: Current trends and future directions. *Educational Psychology Review*, 33(2), 625–651. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09592-3>

Princípios Éticos na IA: O Impacto da Governança Ética na Redução de Vieses

Vanessa G. L. Pessoa¹[0009-0000-3763-5171] and Valdecir Becker¹[0000-0002-0639-3875]

¹ Laboratory of Interaction and Media, Federal University of Paraíba, Brazil
contato@lim.ci.ufpb.br

Abstract. Com o crescente uso de inteligência artificial, os vieses algorítmicos que podem replicar e amplificar preconceitos existentes na sociedade tornaram-se um desafio significativo. Este artigo explora como diferentes organizações estão abordando esses problemas através da adoção de princípios éticos, incluindo responsabilidade, transparência, explicabilidade, proteção de dados, justiça e equidade, autonomia, supervisão humana, segurança e sustentabilidade. Um estudo de caso envolvendo cinco empresas ilustra as diferenças em suas abordagens, mas também revela uma convergência em torno dos valores fundamentais. A pesquisa destaca a importância da governança ética ao afirmar que sua eficácia depende tanto da aplicação consistente desses princípios quanto à existência clara de regulamentações.

Keywords: Ética, Governança, Inteligência Artificial.

1 Introdução

O crescimento da Inteligência Artificial é inegável e está cada vez mais presente em nosso cotidiano. Contudo, a disseminação desses sistemas levanta questões sobre a nossa capacidade de nos adaptarmos adequadamente ao seu uso. Em consequência do rápido avanço tecnológico, não antecipamos todas as implicações éticas e sociais decorrentes deste impacto da IA na sociedade.

O aprendizado das máquinas pode ser compreendido como a capacidade dos sistemas de aprender e adaptar-se à sua programação original [Carvalho, 2020]. Essa característica cria uma distinção entre as atividades do programador e as decisões automáticas tomadas pelo algoritmo, que em alguns casos, pode até mesmo gerar seu próprio código; isso torna mais difícil aos desenvolvedores explicarem todo o processo envolvido nessas escolhas [Requião and Costa, 2022]. Esse cenário levanta duas questões importantes: a opacidade que impede de entender com clareza como os critérios utilizados pelos algoritmos para a tomada de decisões; além da qualidade dos dados utilizados, que pode perpetuar os vieses já presentes na sociedade. Um exemplo notável é o viés racial em algoritmos que avaliam as necessidades médicas com base nos custos dos cuidados, o que desfavorece pacientes negros que historicamente têm menos acesso

à saúde [Obermeyer et al 2019]. Esses desafios destacam a importância de uma governança ética robusta para mitigar esses vieses discriminatórios e promover equidade nos sistemas inteligentes.

O presente artigo apresenta um estudo de caso de cinco empresas, Microsoft, Google, Accenture, Salesforce e IBM, com princípios publicamente definidos de governança ética. São analisados os princípios éticos de responsabilidade, transparência, explicabilidade, proteção de dados, justiça e equidade, autonomia, supervisão humana, segurança e sustentabilidade, com destaque para as diferenças entre as abordagens.

2 Governança ética

Conforme os sistemas de IA assumam tarefas cognitivas com dimensões sociais, anteriormente realizadas exclusivamente por humanos, é imperativo que incorporem os requisitos sociais [Bostrom and Yudkowsky 2011]. O uso crescente da IA em processos decisórios com impacto significativo na vida das pessoas exige o desenvolvimento de estruturas de governança baseadas em princípios éticos sólidos.

A governança ética da inteligência artificial é estruturada em quatro componentes inter-relacionados: teorias éticas, estruturas de governança, princípios éticos e diretrizes éticas. Esses elementos trabalham conjuntamente para assegurar o desenvolvimento responsável e a utilização adequada da IA. As teorias éticas procuram identificar o que torna uma ação mais ou menos ética [Stahl 2018], fornecendo assim uma base sólida para criar as estruturas de governança no campo da IA [Nassar and Kamal 2021; Bertoni and Serafim 2023]. Essas estruturas funcionam como mecanismos práticos que convertem ideias abstratas das teorias em modelos organizacionais concretos. Dentro dessas estruturas, os princípios éticos atuam como metas que orientam a governança, especialmente em termos como responsabilidade, segurança, justiça e transparência. Por fim, as diretrizes éticas oferecem instruções específicas às organizações, garantindo assim a implementação dos princípios e o alinhamento da inteligência artificial com os valores sociais e éticos.

2.1 Princípios da Governança Ética

A governança ética deve definir e implementar procedimentos e padrões que orientem o desenvolvimento, uso e gerenciamento dos sistemas de inteligência artificial. Seu objetivo é minimizar os riscos associados à tecnologia, como a introdução de vieses discriminatórios, e promover seu uso em benefício do bem comum [Sigfrids et al., 2022]. Estruturas de governança ética têm o papel crucial de traduzir princípios éticos já conhecidos em objetivos compreensíveis [Lundgren 2023] que visam mitigar diretamente os vieses algorítmicos.

Os princípios mencionados a seguir promovem a confiança, garantem a aceitação social e reforçam o compromisso das entidades com o desenvolvimento de sistemas de IA que estejam alinhados aos valores humanos e ao bem-estar social [Agarwal 2023].

1. Responsabilidade:

O princípio da responsabilidade se preocupa principalmente com a questão de quem responsabilizar pelas ações e decisões dos sistemas de IA, em quais aspectos e em que medida [Cheng and Liu 2023; Robles and Mallison 2023]. Em casos como o de um sistema de IA utilizado para diagnóstico médico, a questão é: se o sistema errar na classificação de uma doença e o médico confiar cegamente no resultado, repassando o diagnóstico sem maior avaliação, quem deve ser responsabilizado? Quem desenvolveu e implementou o sistema inteligente ou o médico que o utilizou sem avaliação crítica? Esse é um dilema ético frequente em discussões sobre responsabilidade em IA [Stahl 2021a], onde se busca um equilíbrio entre responsabilidade técnica e a responsabilidade profissional dos usuários [De Almeida, Dos Santos and Farias 2021]. Além disso, os usuários esperam pelo bom funcionamento dos sistemas [Camilleri 2023] e as falhas podem prejudicar essa confiabilidade.

2. Transparência e explicabilidade

A falta de transparência pode dificultar a capacidade de responsabilizar os sistemas de IA por suas ações [Agarwal 2023]. Compreender o funcionamento dos sistemas de IA pode ser um desafio, pois muitas vezes eles são vistos como uma "caixa-preta" [Perez et al. 2018; Bertoncini e Serafim 2023], dificultando ainda mais a tradução dos conceitos algorítmicos e decisões em termos que sejam claros para os usuários [Camilleri 2023]. Contudo, ter governança transparente na área da IA não implica necessariamente que as pessoas precisam entender o código. Em vez disso, significa oferecer oportunidades para diálogo e expressão das preocupações relacionadas ao uso desses sistemas [Robles and Mallison 2023].

3. Privacidade e proteção de dados

O princípio da privacidade e proteção de dados diz respeito ao direito de controlar quem pode acessar suas informações pessoais. O uso sem autorização ou consentimento dos dados coletados constitui uma violação da privacidade [Camilleri 2023, Kumar 2024]. Um grande problema no manuseio desses dados é que muitas vezes os usuários desconhecem que estão fornecendo essas informações e não sabem como elas serão utilizadas. Portanto, a transparência nas práticas de tratamento de dados é fundamental; deve-se informar aos usuários sobre a coleta, processamento e utilização dessas informações, além de estabelecer mecanismos para permitir o acesso, modificação e exclusão dos próprios dados pelos usuários [Agarwal 2023].

4. Justiça e equidade

O princípio da justiça em inteligência artificial busca corrigir os vieses algorítmicos, que podem ser introduzidos de maneira intencional ou não [Camilleri 2023]. Para isso, é necessário um sistema de governança capaz de fornecer métodos práticos para o desenvolvimento dos algoritmos a fim de evitar discriminação e, ao mesmo tempo, respeitar valores humanos [Robles and Mallison 2023; Agarwal 2023]. Isso requer um projeto ético e deliberado com constante envolvimento das partes interessadas. A participação contínua dessas partes - como desenvolvedores, usuários e reguladores - é essencial para assegurar que os sistemas de IA reflitam e promovam tais valores [Kumar 2024].

5. Liberdade e autonomia

O princípio de liberdade e autonomia está relacionado à autodeterminação através de meios democráticos, ao direito de estabelecer e desenvolver relações com outras

peças, bem como à liberdade para retirar consentimento ou utilizar uma plataforma ou tecnologia da preferência própria [Jobim, Ienca and Vayena 2019]. As inteligências artificiais influenciam o ambiente das possíveis ações ao fornecerem ou ocultar informações; tal comportamento pode diminuir a autonomia individual comprometendo a liberdade de escolha [Stahl 2021c].

6. Supervisão humana

Os sistemas de inteligência artificial devem ser desenvolvidos para complementar a autonomia humana, assegurando que suas decisões sejam transparentes e fáceis de entender. Isso permite que as pessoas mantenham o controle sobre suas ações e escolhas [Kutz et al 2023]. Além disso, é importante que as estruturas de governança integrem processos de revisão ética e avaliação de impacto [Agarwal 2023], estabelecendo mecanismos adequados para supervisão humana em situações críticas, com o objetivo de aumentar a segurança e responsabilidade.

7. Segurança e robustez

O princípio de segurança e robustez enfatiza que as estruturas de governança em inteligência artificial devem contemplar planos de contingência para lidar com eventuais falhas, visando minimizar ou evitar danos não intencionais [Kutz et al. 2023]. Como os sistemas de IA aprendem por meio das interações com seus usuários, eles estão vulneráveis a ataques por parte de agentes mal-intencionados, o que transforma a questão da segurança em uma preocupação persistente [Camilleri 2023]. Além disso, esses sistemas podem ser usados para descobrir e explorar fraquezas existentes, aumentando assim os riscos relacionados à segurança [Stahl, 2021a]. Assim sendo, assegurar que a IA seja robusta e resiliente é crucial para mitigar tais riscos e proteger tanto os usuários quanto às informações processadas por estes sistemas.

8. Sustentabilidade

Com o uso crescente de sistemas de IA, aumentam as preocupações sobre seus impactos ambientais. O princípio da sustentabilidade ressalta a importância da proteção do meio ambiente, dos ecossistemas e da biodiversidade [Jobim, Ienca, and Vayena 2019]. Embora a inteligência artificial possa ajudar na redução do consumo energético ao simplificar processos e melhorar a eficiência, sua implementação exige uma quantidade significativa de recursos tanto no desenvolvimento quanto na operação contínua [Stahl, 2021c]. Novos produtos e serviços baseados em IA podem acarretar impactos ambientais negativos ao intensificarem questões como alto consumo energético e geração de resíduos eletrônicos. Portanto, é vital que a governança relacionada à IA adote estratégias voltadas para promover a sustentabilidade reduzindo danos ao ambiente.

Os princípios éticos, quando acompanhados de diretrizes específicas e objetivas, desempenham um papel crucial na identificação de vieses nos dados e nos processos de desenvolvimento dos sistemas de inteligência artificial. Ao serem aplicados desde as primeiras etapas de desenvolvimento, esses princípios fornecem não apenas orientações para o uso responsável da IA, mas também abordam questões sociais, éticas e relacionadas aos direitos humanos [Stahl 2021b]. Com essa abordagem, as diretrizes éticas ajudam a equilibrar os benefícios tecnológicos da IA enquanto mitigam os riscos associados a decisões enviesadas e discriminatórias.

3 Métodos

Este estudo utiliza uma abordagem qualitativa, centrada na análise da problemática do viés algorítmico e da proposta da governança ética em sistemas inteligentes como forma de mitigar os vieses discriminatórios. O método qualitativo possibilita explorar fenômenos complexos e subjetivos ligados às implicações éticas e sociais [Cresswell 2021].

O método envolve a análise dos regulamentos organizacionais de empresas globais no que tange às estruturas de governança ética da IA. As organizações selecionadas para o estudo são Microsoft, Google, Accenture, Salesforce e IBM. O objetivo é examinar e contrastar os princípios éticos relacionados à estrutura de governança ética da inteligência artificial dessas empresas com aqueles discutidos neste artigo. A metodologia segue as etapas abaixo:

1. Seleção das empresas: Serão selecionadas empresas que possuam políticas públicas documentadas sobre governança de IA.
2. Coleta de dados: A coleta de dados será realizada através da análise de relatórios de governança e políticas de IA das empresas. O foco será nas seções que tratam dos princípios éticos.
3. Análise das diretrizes éticas: A análise será baseada nos oito princípios de governança ética em IA discutidos no artigo: responsabilidade, transparência e explicabilidade, privacidade e proteção de dados, justiça e equidade, liberdade e autonomia, supervisão humana, segurança e robustez e sustentabilidade. Para cada princípio, será avaliada a presença ou ausência de diretrizes específicas nas políticas das empresas, bem como o grau de detalhamento dessas diretrizes.
4. Discussão dos resultados: A discussão buscará compreender em que medida as diretrizes organizacionais refletem os princípios de governança ética da IA mencionados.

4 Estudos de casos

Para entender como diversas organizações tratam a governança ética na inteligência artificial, foi realizado um estudo de caso com cinco empresas: Microsoft, Google, Accenture, Salesforce e IBM. Essas companhias foram selecionadas devido à sua importância no campo tecnológico e no desenvolvimento da inteligência artificial.

Cada estudo de caso examinará a estrutura de governança adotada pela empresa, destacando os princípios éticos que estão em alinhamento com os oito princípios apresentados neste artigo: responsabilidade, transparência e explicabilidade, privacidade e proteção de dados, justiça e equidade, liberdade e autonomia, supervisão humana, segurança e robustez, e sustentabilidade.

4.1 Microsoft

A Microsoft é uma corporação global de tecnologia, reconhecida pelo desenvolvimento de plataformas e ferramentas digitais, com foco crescente em soluções impulsionadas

por IA. A empresa emprega mais de 200 mil colaboradores em todo o mundo [Microsoft], estando presente no Brasil há 35 anos [Microsoft Mais Brasil - Relatório de Impacto].

A empresa divulgou suas diretrizes internas [Microsoft 2022] para projetar inteligência artificial de forma responsável, estabelecendo princípios como metas para orientar seu desenvolvimento e uso internos. No entanto, os princípios de liberdade e autonomia, supervisão humana e sustentabilidade não foram incluídos nas diretrizes éticas da Microsoft. A seguir, apresentamos uma comparação entre os princípios contemplados pela governança ética da Microsoft e aqueles discutidos neste artigo:

1. Responsabilidade

Os sistemas de IA da Microsoft passam por Avaliações de Impacto durante todo o ciclo de desenvolvimento, reforçando o monitoramento contínuo de seus efeitos. Trata a responsabilidade não apenas em termos de impacto social e organizacional, mas também integra dois outros princípios da governança ética: supervisão e controle humanos, além da privacidade e proteção dos dados, garantindo que as soluções sejam apropriadas e eficazes para seus propósitos estabelecidos

2. Transparência e explicabilidade

Os sistemas são desenvolvidos para oferecer suporte à explicabilidade às partes interessadas, garantindo uma comunicação clara sobre seus recursos e limitações. Além disso, asseguram que os usuários sejam informados quando estão interagindo com um sistema de IA ou conteúdos gerados por algoritmos que imitam a sua autenticidade.

3. Justiça e equidade

A Microsoft aborda esse princípio dividindo-o em dois aspectos: justiça e inclusão. A Microsoft projeta suas IAs para minimizar disparidades nos resultados entre diferentes grupos demográficos e evitar a reprodução de estereótipos. Na inclusão, há um foco na aderência aos padrões de acessibilidade previamente estabelecidos pelos Padrões da Microsoft.

4. Segurança e robustez

A Microsoft chama esse princípio de confiabilidade e prevenção de riscos. Os sistemas de IA da empresa são projetados para minimizar o tempo necessário para corrigir falhas conhecidas ou previsíveis, além de estarem constantemente monitorados dentro dos intervalos operacionais seguros.

5. Privacidade e proteção dos dados

Neste princípio, a proteção dos dados é abordada com foco específico nos padrões de conformidade internos na empresa: Padrão de Privacidade da Microsoft e Política de Segurança da Microsoft.

Além de incorporar esses princípios em suas diretrizes, a governança ética permite que a Microsoft colabore com outras empresas em iniciativas como o AI for Good. Esta plataforma contínua promove debates e soluções práticas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU [International Telecommunication Union, 2024]. A AI for Good Foundation está estabelecendo padrões para boas práticas na implementação empresarial, focando áreas como viés e equidade, privacidade dos dados, democratização do acesso à tecnologia e governança responsável [Ethics - AI for Good Foundation]. Essas áreas convergem no objetivo comum de promover equidade e ampliar o acesso seguro aos dados.

4.2 Google

A Google é uma empresa multinacional amplamente reconhecida por seus serviços on-line e desenvolvimento de software. A companhia emprega aproximadamente 300 mil pessoas [Google] e tem sua sede brasileira situada em São Paulo. Em seu site oficial [Google], a empresa reafirma o compromisso com o desenvolvimento responsável da inteligência artificial, destacando princípios fundamentais que orientam suas práticas. Entre esses princípios estão justiça e equidade, segurança e robustez, responsabilidade, privacidade e proteção dos dados; no entanto, ficam ausentes os aspectos de transparência e explicabilidade, liberdade e autonomia, supervisão humana e sustentabilidade.

1. Justiça e equidade

A Google compromete-se a evitar impactos injustos sobre as pessoas, especialmente aqueles relacionados a características sensíveis como raça, etnia, renda, orientação sexual, capacidade e crença política ou religiosa.

2. Segurança e robustez

Os sistemas de IA da Google são projetados de acordo com as melhores práticas estabelecidas por pesquisa de segurança em IA e, em determinados casos, serão testados em ambientes restritos e monitorados em sua operação pós implantação.

3. Responsabilidade

Esse princípio é discutido em conjunto com o da transparência e do controle humano. Os sistemas são projetados para permitir que os usuários forneçam feedback sobre seu funcionamento, além de oferecer explicações relevantes e compreensíveis sobre como as decisões foram tomadas. Isso promove que os humanos tenham a capacidade de supervisionar e intervir nas operações quando necessário.

4. Privacidade e proteção dos dados

A Google aplica esse princípio oferecendo a oportunidade de notificação e consentimento, além de garantir transparência e controle adequados sobre os dados.

4.3 Accenture

A Accenture é uma empresa de consultoria com atuação global, presente em 49 países e contando com mais de 730 mil colaboradores [Accenture]. No seu site, a empresa divulga um estudo de caso intitulado "O projeto da Accenture para IA responsável", que descreve os princípios aplicados aos seus sistemas internos de inteligência artificial. Esses princípios são analisados comparativamente aos mencionados neste artigo, porém deixando de fora os relacionados à transparência e explicabilidade, liberdade e autonomia, além da segurança e robustez que não foram abordados pela Accenture.

1. Justiça e equidade

A Accenture se desempenha em garantir que todos os seus modelos de sistemas de inteligência artificial tratem todos os grupos de forma equitativa, reconhecendo essa ação como necessária para a mitigação de vieses.

2. Transparência e explicabilidade

A empresa adota uma política de transparência e explicabilidade divulgando o uso da IA, onde todos possam entender e avaliar os seus resultados e processos de tomada de decisão

3. Responsabilidade

O princípio de responsabilidade é aplicado através de estruturas de governança dentro de toda empresa, com funções, políticas e responsabilidades claras.

4. Privacidade e proteção dos dados

A Accenture garante que a IA esteja em conformidade com as leis relevantes, que esteja protegida contra ataques cibernéticos e que os dados estejam protegidos com a proteção de dados.

5. Sustentabilidade

A empresa se compromete a mitigar qualquer impacto negativo que suas soluções possam ter no planeta, priorizando inovações que favoreçam a sustentabilidade.

4.4 Salesforce

A Salesforce é uma empresa global focada em soluções de gerenciamento do relacionamento com clientes (CRM). Com sede em San Francisco, a organização conta com mais de 78 mil funcionários distribuídos por diversos países [Salesforce]. A Salesforce utiliza inteligência artificial para otimizar as áreas de marketing, vendas e atendimento ao cliente. A empresa mantém seu compromisso com o desenvolvimento ético e responsável dessas tecnologias. Em seu site oficial, a Salesforce divulgou seus princípios éticos que incluem privacidade e proteção dos dados, transparência e explicabilidade, liberdade e autonomia e sustentabilidade, mas não foram mencionados outros princípios abordados anteriormente neste artigo, como responsabilidade, justiça e equidade, supervisão humana, e segurança e robustez.

1. Privacidade e proteção dos dados

Este princípio na Salesforce é chamado internamente de "segurança", este princípio abrange a proteção de informações pessoais e a redução de vazamentos e vieses. A empresa enfatiza a importância de evitar conteúdos tóxicos e discriminatórios em interações automatizadas.

2. Transparência e explicabilidade

A Salesforce adota esse princípio, chamando-o de transparência e precisão. No que diz respeito à transparência, a empresa enfatiza a importância de respeitar a origem dos dados e deixar claro quando o conteúdo é gerado por IA. Em termos de precisão, destaca-se a necessidade de informar sempre que uma resposta não for totalmente clara, além da possibilidade de habilitar a verificação dos fatos quando viável.

3. Liberdade e autonomia

A Salesforce adota uma postura centrada no ser humano, permitindo que os humanos permaneçam no controle, potencializando as capacidades humanas, garantindo práticas trabalhistas responsáveis.

4. Sustentabilidade

O princípio da sustentabilidade é implementado através da otimização dos modelos de IA para garantir eficiência no uso de recursos, minimizando as emissões de carbono. Além disso, a Salesforce também se dedica à representatividade e alta qualidade dos dados empregados no treinamento desses modelos.

4.5 IBM

A IBM é uma empresa que fornece tecnologia e serviços essenciais para resolver problemas empresariais. A organização emprega mais de 300 pessoas localizadas em diversos países [IBM]. A IBM está empenhada na promoção da IA responsável e publicou em seu site princípios éticos adotados no desenvolvimento dessa tecnologia, além de um documento detalhado com diretrizes ilustrando a abordagem utilizada para cada item mencionado [IBM]. Entre esses princípios estão transparência e explicabilidade, justiça e equidade, segurança e robustez, privacidade e proteção dos dados; no entanto, ficam ausentes os aspectos de responsabilidade, liberdade e autonomia, supervisão humana e sustentabilidade.

1. Transparência e explicabilidade

Esse princípio é discutido de maneira independente. A transparência é abordada para assegurar que todas as partes envolvidas estejam informadas sobre quais dados foram coletados, como são utilizados e armazenados, e quem tem acesso a eles. A explicabilidade assegura que os humanos sejam capazes de perceber e compreender o processo decisório da IA.

2. Segurança e robustez

A IBM tem o compromisso de que toda equipe trabalhe em conjunto a fim de escolher componentes robustos que minimizem os riscos e permitam a confiança dos usuários nos resultados dos sistemas de IA.

3. Justiça e equidade

No início, a IBM enfatiza a importância de identificar e enfrentar preconceitos para promover uma representação inclusiva. Isso é realizado por meio de pesquisas contínuas e da coleta responsável e representativa de dados que refletem uma população diversificada.

4. Privacidade e proteção dos dados

Este princípio assegura a conformidade com as regulamentações de proteção de dados nos países onde os produtos da IBM são utilizados. Além disso, sugere medidas para preservar e fortalecer o controle dos usuários sobre seus próprios dados e como eles são usados.

Embora não mencione explicitamente a responsabilidade como um princípio, o documento destaca a importância de assumir responsabilidades pelos resultados do sistema de IA no mundo real. Enfatiza que cada indivíduo envolvido na criação da IA, em qualquer etapa do processo, tem a obrigação de considerar seu impacto, assim como as empresas dedicadas ao seu desenvolvimento.

5 Discussão

Os estudos de casos apresentados demonstram que as empresas estão cada vez mais cientes das responsabilidades éticas associadas ao desenvolvimento e uso da inteligência artificial. O viés discriminatório pode surgir em várias etapas do processo de desenvolvimento dos sistemas de IA, levando as organizações a buscar a implementação de princípios éticos como forma de mitigar esses vieses. Embora cada empresa adote abordagens distintas, os princípios éticos compartilham o objetivo comum de promover um

uso justo e seguro da inteligência artificial. A Tabela 1 ilustra como a variedade nos princípios das diretrizes éticas indica que não há um padrão universalmente aceito para as estruturas de governança ética na IA; em vez disso, observa-se uma convergência em torno de princípios fundamentais que guiam essas práticas.

Table 1. Análise comparativa dos princípios éticos nas empresas

	Microsoft	Google	Accenture	Salesforce	IBM
Responsabilidade	X	X	X		
Transparência e explicabilidade	X			X	X
Privacidade e proteção de dados	X	X	X	X	X
Justiça e equidade	X	X	X		X
Liberdade e autonomia				X	
Supervisão humana					
Segurança e robustez	X	X			X
Sustentabilidade			X	X	

Observa-se que Microsoft, em seu documento, detalha minuciosamente cada etapa da implementação de seus princípios e indica quem é o responsável por garantir sua execução. Em contraste, a IBM e a Google descrevem os princípios com sugestões práticas para implementá-los sem definir um modelo ou atribuir responsabilidades específicas às pessoas envolvidas. Por sua vez, a Salesforce e a Accenture adotaram uma abordagem mais abstrata ao descrever seus princípios, tratando os princípios éticos como metas para alcançar inteligência artificial confiável, mas sem explicitar metodologias precisas para a sua implementação.

É importante destacar que, embora os nomes dos princípios variem entre as empresas, existe uma correspondência significativa entre as ideias apresentadas. Por exemplo, a Microsoft denomina equidade como inclusão e traduz robustez por confiabilidade e prevenção de riscos. Já o Salesforce denomina liberdade e autonomia como empoderamento. A Google opta por uma abordagem distinta, articulando seus princípios através de ações concretas, como "evitar criar ou reforçar preconceitos injustos", em vez de apenas classificá-los sob o rótulo de "justiça e equidade".

Outra observação relevante é que nenhuma organização adotou todos os oito princípios expostos no artigo; contudo, mesmo quando não são explicitamente aceitos como um princípio individual, eles acabam sendo abordados indiretamente dentro de outros

ou nas orientações gerais dessas entidades de forma indireta ou transversal. A Microsoft e a Google discutem controle humano junto à autonomia e liberdade em seus capítulos sobre responsabilidade. Por outro lado, Salesforce e IBM não tratam diretamente responsabilidade como um princípio ético específico, mas ela é destacada ao longo do documento como resultado final alcançado pela aplicação dos demais conceitos. Além disso, ainda que a Salesforce não possua formalmente um princípio dedicado à justiça e equidade, se ocupa do tema vieses sob o princípio de privacidade e proteção aos dados.

Por fim, esta análise reforça a relevância da governança ética para mitigar os vieses discriminatórios, consolidando o compromisso das organizações em desenvolver tecnologias de IA de forma responsável e confiável. Como discutido ao longo deste estudo, os vieses podem surgir em qualquer fase do desenvolvimento da IA, desde a coleta dos dados até a aplicação dos modelos. Por isso, estabelecer medidas de monitoramento contínuo em todas as etapas é essencial para identificar esses vieses, responsabilizar os envolvidos e implementar as correções necessárias.

Ao abordar os vieses discriminatórios, as organizações reconhecem que o objetivo é minimizá-los e não eliminá-los completamente. Isso se deve à complexidade dos vieses, que podem variar de acordo com diferentes culturas e sociedades. Além disso, as empresas enfrentam limitações em relação ao uso final das ferramentas que oferecem; por exemplo, uma IA projetada para gerar imagens não tem controle sobre como suas criações serão utilizadas por terceiros. Esses desafios destacam a necessidade de legislações mais abrangentes e críticas, levando em consideração um amplo espectro de cenários para mitigar riscos além do alcance organizacional.

A diversidade entre as diretrizes dos princípios éticos não deve ser vista como fraqueza. Pelo contrário, essas diretrizes internas refletem os contextos e prioridades específicas de cada organização. No entanto, esses esforços fragmentados evidenciam a urgência de uma estrutura globalmente coordenada. A lei de IA da União Europeia [União Europeia 2023], a ordem executiva da Casa Branca dos Estados Unidos [The White House 2023] e o apelo do secretário-geral da ONU por uma governança global da IA [ONU 2024] são exemplos significativos de iniciativas que buscam padronizar e alinhar as diretrizes. Tais esforços pressionam as organizações a se posicionarem com mais seriedade em prol de uma IA justa e confiável, alinhando as práticas às expectativas sociais e as leis emergentes.

Embora as empresas estejam empenhadas no desenvolvimento responsável, nosso acesso se limita às informações divulgadas em suas plataformas públicas. Essas informações são frequentemente muito vagas, o que impede uma compreensão clara sobre a aplicação e implementação dos princípios estabelecidos. Para alcançar essa clareza, seria necessário disponibilizar ferramentas que permitam monitorar e controlar esses sistemas de inteligência artificial. Atualmente, sem esse nível de controle disponível, as estruturas de governança dentro das empresas atuam como um gerenciamento de risco: não garantem a inexistência total de riscos — como a existência de vieses discriminatórios — mas buscam minimizar sua ocorrência e proporcionar soluções mais ágeis.

6 Conclusão

Os vieses discriminatórios nos algoritmos constituem um problema complexo e desafiador. Identificar se um viés presente em um sistema é discriminatório depende diretamente do contexto no qual ele está inserido. Além disso, o desenvolvimento de sistemas de inteligência artificial envolve várias etapas, cada uma sujeita à introdução de diferentes tipos de vieses, conforme mostrado na Tabela 1 com a taxonomia dos vieses.

Dada a dificuldade de eliminar completamente esses vieses, esforços estão sendo direcionados tanto através de legislações formais quanto por meio de iniciativas privadas. O objetivo final é alcançar um equilíbrio entre regulamentações governamentais e práticas corporativas responsáveis através das diretrizes éticas. No entanto, enquanto essa convergência ainda está se desenvolvendo, empresas globais, como as analisadas neste estudo, desempenham um papel crucial ao incorporar princípios éticos nos sistemas de inteligência artificial. A incorporação desses princípios nas diretrizes de governança voltadas para IA promove maior aceitação social.

Este artigo sugere que a incorporação de princípios éticos é uma estratégia para orientar o desenvolvimento responsável de sistemas de inteligência artificial. Esses princípios são baseados em teorias éticas já estabelecidas na filosofia. Para investigar como essa abordagem tem sido aplicada na prática, foi conduzido um estudo de caso envolvendo cinco empresas: Microsoft, Google, Accenture, Salesforce e IBM.

A análise comparativa dos estudos de caso revela que, apesar da falta de padronização na aplicação dos princípios éticos, as empresas estão atentas às questões éticas no desenvolvimento de sistemas inteligentes. Cada organização adotou estratégias e enfoques distintos, porém todas compartilham o objetivo comum de mitigar vieses e garantir maior transparência e controle nos processos de desenvolvimento. Este trabalho ressalta a importância da governança ética como elemento central para desenvolver inteligência artificial alinhada com valores humanos e capaz de reduzir vieses discriminatórios. Contudo, é fundamental reconhecer certas limitações do estudo: a dependência em fontes secundárias para coletar dados sobre os exemplos analisados e o rápido avanço do campo da IA podem rapidamente desatualizar algumas informações apresentadas aqui. Assim sendo, ressalta-se a necessidade futura por uma investigação mais aprofundada que analise detalhadamente o impacto da governança da IA e dos princípios éticos na prática real das organizações.

References

- ACCENTURE. Blueprint for Responsible AI. Disponível em: <<https://www.accenture.com/us-en/case-studies/data-ai/blueprint-responsible-ai>>. Acesso em: 20 set. 2024.
- ACCENTURE. Sobre a nossa empresa. Disponível em: <<https://www.accenture.com/bpt/about/company-index#:~:text=Somos%20um%20time%20global&text=Cidades%20com%20instala%C3%A7%C3%B5es%20e%20opera%C3%A7%C3%B5es%20Accenture%20em%2049%20pa%C3%ADses.>> . Acesso em: 19 out. 2024.
- Ethics - AI for Good Foundation Disponível em: <<https://ai4good.org/ethics/>>. Acesso em: 19 out. 2024.
- BERTONCINI, A. L. C.; SERAFIM, M. C. Ethical content in artificial intelligence systems: A demand explained in three critical points. *Frontiers in Psychology*, v.14, 30 mar. 2023.

- BOSTROM, N.; YUDKOWSKY, E. THE ETHICS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE. [s.l.: s.n]. Disponível em: <<https://nickbostrom.com/ethics/artificial-intelligence.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2024.
- CAMILLERI, M. A. Artificial intelligence governance: Ethical considerations and implications for social responsibility. Expert Systems, 18 jul. 2023.
- CARVALHO, A. P. DE. Viés algorítmico e discriminação: possíveis soluções regulatórias para o Brasil. lume.ufrgs.br, 2020.
- CHENG, L.; Liu, X. From principles to practices: the intertextual interaction between AI ethical and legal discourses. International journal of legal discourse, v.8, n.1, p. 31-52, 1 abr. 2023.
- CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. D. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 5th ed. Porto Alegre: Pens 2021. E-book. p.i. ISBN 9786581334192. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786581334192/>>. Acesso em : 15 ago. 2024.
- DE ALMEIDA, P. G. R.; DOS SANTOS, C. D.; FARIAS, . S. Artificial Intelligence Regulation: a Framework for Governance. Ethics and Information Technology, v. 23, n. 3, p. 505-525, 21 abr. 2021.
- GOOGLE. Google AI Principles. Disponível em: <<https://ai.google/responsibility/principles/>>. Acesso em: 20 set. 2024.
- GOOGLE. AI principles: 2023 progress update. [S.l.]: Google, 2023. Disponível em: <<https://ai.google/static/documents/ai-principles-2023-progress-update.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2024.
- GOOGLE. Google | LinkedIn. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/company/google/people/>> . Acesso em: 19 out. 2024.
- IBM. Everyday Ethics for Artificial Intelligence A practical guide for designers & developers Introduction 6. [s.l.: s.n]. Disponível em <<https://www.ibm.com/watson/assets/duo/pdf/everydayethics.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2024.
- IBM. O que é Inteligência Artificial (IA)? Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/topics/artificial-intelligence>>. Acesso em: ago. 2024.
- IBM. IBM | LinkedIn. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/company/ibm/people/>> . Acesso em: 19 out. 2024.
- INTERNATIONAL TELECOMUNICATION UNION. AI for Good. Disponível em: <<https://aiforgood.itu.int>>. Acesso em: 20 set. 2024.
- JOBIN, A.; IENCA, M.. VAYENA, E. The global landscape of AI ethics guidelines. Nature Machine Intelligence, v. 1, n. 9, p. 389-399, set. 2019.
- KUMAR, W. Ethical AI: Bridging Perspectives for Responsible Technology and Interdisciplinary Discourse. Disponível em: <<https://easychair.org/publications/preprint/j1gkT>>. Acesso em: set. 2024.
- KUTZ, J. et al. AI-based Services - Design Principles to Meet the Requirements of a Trustworthy AI. AHFE international, 1 jan. 2023.
- LUNDGREN, B. In defense of ethical guidelines. AI and Ethics, 17 jan. 2023.
- MICROSOFT. Microsoft | LinkedIn. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/company/microsoft/people/>> . Acesso em: 19 out. 2024.
- Microsoft Mais Brasil - Relatório de Impacto no Brasil. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/maisbrasil>> . Acesso em: 19 out. 2024.
- MICROSOFT. Princípios e Abordagem de IA Responsável. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/ai/principles-and-approach>> . Acesso em: 02 out. 2024.

- NASSAR, A.; KAMAL, M. Ethical Dilemmas in AI-Powered Decision-Making: A Deep Dive into Big Data-Driven Ethical Considerations. *International Journal of Responsible Artificial Intelligence*, v. 11, n.8, p. 1-11, 6 ago. 2021.
- OBERMEYER, Z. et al. Dissecting Racial Bias in an Algorithm Used to Manage the Health of Populations. *Science*, v. 366, n. 6464, p. 447-453, 25 out. 2019.
- ONU. High-Level Advisory Body on Artificial Intelligence / Office of the Secretary-General's Envoy on Technology. Disponível em: <<https://www.un.org.techenvoy/ai-advisory-body>>. Acesso em: 10 out. 2024.
- PEREZ, J. A. et al. Artificial Intelligence and Robotics. arXiv:1803.10813 [cs], 28 mar. 2018.
- REQUIÃO, M.; COSTA, D. Discriminação algorítmica: ações afirmativas como estratégia de combate. *civilistica.com*, v. 11, n. 3, p. 1-24, 25 dez. 2022.
- ROBLES, P.; MALLINSON, D. J. Catching up with AI: Pushing toward a cohesive governance framework. v. 51, n.3, p. 355-372, 15 maio 2023.
- Salesforce. Salesforce | LinkedIn. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/company/salesforce/people/>>. Acesso em: 19 out. 2024.
- SALESFORCE. Responsible AI and technology. Disponível em: <<https://www.salesforce.com/company/responsible-ai-and-technology/>>. Acesso em: 22 set. 2024.
- SIGFRIDS, A. et al. How Should Public Administrations Foster the Ethical Development and Use of Artificial intelligence? A Review of Proposals for Developing Governance of AI. *Frontiers in Human Dynamics*, v. 4, 19 maio 2022.
- STAHL, B.; WRIGHT, D. Ethics and Privacy in AI and Big Data: Implementing Responsible Research and Innovation. *IEEE Security & Privacy*, v. 16, n. 3, p. 26-33, maio/jun. 2018. DOI: 10.1109/MSP.2018.2701164.
- STAHL, B., B. Addressing Ethical Issues in AI. *SpringerBriefs in Research and Innovation Governance*, p. 55-79, 2021.
- STAHL, B., B. Concepts of Ethics and Their Application to AI. *Artificial Intelligence for a Better Future*, p. 19-33, 18 mar. 2021 (a).
1. STAHL, B., B. Concepts of Ethics and Their Application to AI. *Artificial Intelligence for a Better Future*, p. 19-33, 18 mar. 2021 (b).
- STAHL, B., B. Ethical Issues of AI. *Artificial Intelligence for a Better Future*, p. 35-53, 18 mar. 2021 (c).
- THE WHITE HOUSE. FACT SHEET: President Biden Issues Executive Order on Safe, Secure, and Trustworthy Artificial Intelligence. Disponível em: <www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-release/2023/10/30/fact-sheet-president-biden-issues-executive-order-on-safe-secure-and-trustworthy-artificial-intelligence/>. Acesso em: 05 out. 2024.
- UNIÃO EUROPEIA. Hiroshima Process International Guiding Principles for Advanced AI system | Shaping Europe's digital future. Disponível em: <<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/hiroshima-process-international-guiding-principles-advanced-ai-system>>. Acesso em: 05 out. 2024.