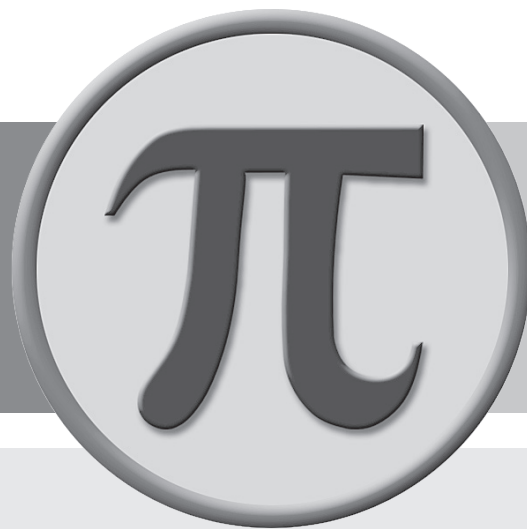


Publicaciones e Investigación



**Revista Especializada
en Ingeniería**

Vol. 12 No. 1 - 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD BOGOTÁ, D.C.

REVISTA PUBLICACIONES E INVESTIGACIÓN Especializada en Ciencias, Tecnología e Ingeniería *Specialized in science, technology and engineering*

Rector

Jaime Alberto Leal Afanador

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Constanza Abadía García

Vicerrector Medios y Mediaciones Pedagógicas

Leonardo Yunda Perlaza

Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

Edgar Guillermo Rodríguez Díaz

Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Social

Leonardo Sánchez Evemeleth

Decano Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Claudio Camilo González Clavijo

Decana Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Julialba Ángel Osorio

Decana Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades

Sandra Milena Morales Mantilla

Decana Escuela de Ciencias de la Educación

Clara Esperanza Pedraza Goyeneche

Decana Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios

Sandra Rocío Mondragón Arévalo

Decana Escuela de Ciencias de la Salud

Myriam Leonor Torres P.

Director

Rafael Ricardo Rentería Ramos

Editora

Nelly Morales Pedraza

Comité editorial

Ph.D. Jesús Alfonso Torres Ortega – Unisalle – Bogotá, Colombia

Ph.D. Rodrigo Ortega Toro. Unicartagena – Bogotá, Colombia

Ph.D. Oscar Yesid Suarez – Unal. Bogotá – Colombia

Ph.D. Carlos Mario Zuluaga D. – Unal – Bogotá, Colombia Ph.D.

Ph.D. Sixto Enrique Campaña Bastidas – Unad – Bogotá, Colombia

Ph.D. Jorge Andrés Vivares – Unad – Dosquebradas, Colombia

Ph.D. Martha Cuenca Quicazan – U. Libera Bolzano, Italia

Mg. Gonzalo García – Galaxy Studios N.V. Bélgica

Comité Científico Internacional

Ph.D. Luis Martínez López- U. Jaén – España

Ph.D. Carlos Narciso Bouza Herrera – U. de la Habana - Cuba

Ph.D. Francisco Maugeri Filho – Unicamp. Brasil

Ph.D. Carlos Alberto Gasparetto – Facens. Brasil

Ph.D. Enrique Ortega Rodríguez – Unicamp. Brasil

Ph.D. Lourdes Zumalacárregui – Cujae. Cuba

Ph.D. Israel Herrera Orozco – CIEMAT – Barcelona. España

Ph.D. José Félix García Rodríguez – U. Juárez Autónoma de Tabasco - Mexico

Ph.D.(c). Sofía Collazo Bigliardi – U. Politécnica de Valencia

– Valencia. España

Diagramación y Diseño de portada

Hernán Vásquez Giraldo

Política Editorial

La Revista especializada en ciencia, tecnología e ingeniería, órgano de divulgación científica de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, tiene una periodicidad de publicación semestral (enero- julio - diciembre); divulga artículos originales evaluados bajo la modalidad de pares doble ciego en temas de las áreas de la ciencia, tecnología e ingeniería. Los artículos deben ser inéditos y las opiniones expresadas en ellos son responsabilidad de los autores. La reproducción total o parcial sin fines comerciales, se autoriza si se indica claramente la fuente: revista publicaciones e investigación <https://doi.org/10.22490/issn.2539-4088> y debe ser usado en bibliografías, leyendas, notas al pie y referencias.

CONTENIDO



Editorial	7
Experiencia de usuario en el laboratorio de innovaciones tecnológicas para ambientes de experiencia (ITAE)	
User-experience in the laboratory of technological innovations or environments of experience (ITAE)	
Ivette Kafure Muñoz, Jorge Luís Barreto Pereira	11
<hr/>	
Interacción del usuario sordo con la Información de sitios web del gobierno Brasileiro	
Deaf user interaction with information of Brazilian government websites	
Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos, Ivette Kafure Muñoz	23
<hr/>	
Definición de un proceso metodológico para la construcción de juegos serios para el apoyo de la enseñanza de la física cinemática	
Definition of a methodological process for the construction of serious games as support to the teaching of the kinematic physics	
Carol J. Aguilar, Gabriel E. Chanchí, María I. Vidal	35
<hr/>	
Heurísticas para evaluación de usabilidad en entornos virtuales de aprendizaje	
Heuristics for evaluation of usability in virtual learning environments	
Marilú García Soto, Liliana Espinosa Ramírez	51
<hr/>	
Prototipo de un objeto de aprendizaje en realidad aumentada para ambientes educativos y colaborativos	
Prototype of a learning object in augmented reality for educational and collaborative environments	
Miguel Ángel López Cacho	65
<hr/>	

Retos y tendencias actuales en la logística inversa con enfoque en ingeniería industrial

Challenges and current trends in inverse logistics with a focus on industrial engineering

Gustavo A. Araque, Martha C. Ospina, Lyda Vega, Gabriel Rivera

73

Análisis del exoesqueleto para la recuperación del daño en el sistema locomotor a partir de un sensor para la extensión y flexión del brazo

Analysis of the exoskeleton for the recovery of damage in the locomotive system from a sensor for extension and flexion of the arm

Nancy Edith Ochoa G., Carlos Eduardo Mesa

87

Evaluación de la capacidad de bioadsorción de plomo (II) presente en afluentes sintéticos, utilizando bioadsorventes de origen vegetal

Evaluation of bioadsorción capacity of lead (II) present in synthetic tributaries, using vegetable-based bioadsorventes

Rosa Catalina Hernández Gómez, Jennyfer Garzón Gutiérrez,
Maritza La Rotta La Rotta, Jayeth Guerra Rodríguez

101

Lineamientos generales

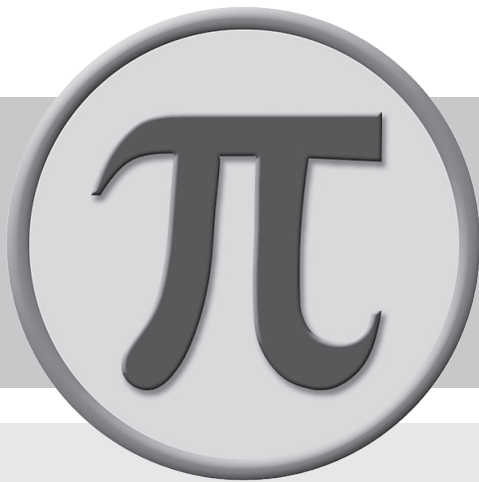
113

Instrucciones para presentar artículos

115

Lista de autores

119



EDITORIAL

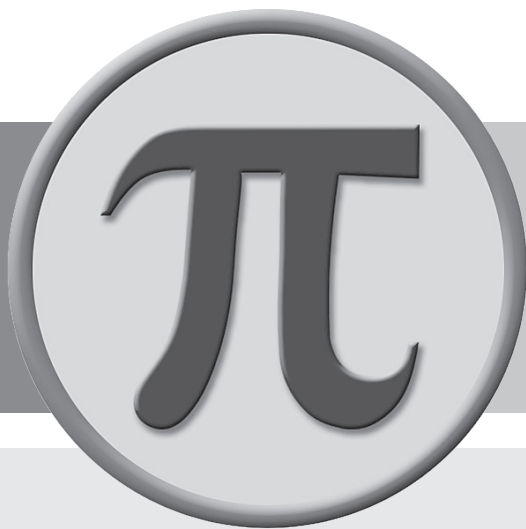


En el mundo contemporáneo, es fundamental la innovación y la creatividad, pero estas están ligadas a la posibilidad de divulgar el conocimiento nuevo, en cualquier campo de la actividad humana. En este sentido, uno de los grandes retos que se tiene en la apropiación de la ciencia y tecnología en las instituciones educativas, está en dinamizar los procesos de divulgación de los resultados obtenidos de este ejercicio, con los cuales no solo se pueda generar un reconocimiento local de la comunidad que genera dicho conocimiento, sino que este pueda ser apropiado en los más diversos lugares, logrando, así contribuir al desarrollo y bienestar de la sociedad en su conjunto y al reconocimiento, más allá de lo local, de la institución y sus integrantes.

Por este motivo se busca que esta visibilidad, se extienda a las comunidades o agremiaciones internacionales especializadas en el diseño, desarrollo y divulgación de productos de ciencia y tecnología. Son por lo tanto estos condicionantes, los principales componentes que deben ser adoptados en el quehacer de grupos y centros de investigación, entre otros colectivos, que tengan relación con la producción de conocimiento.

En conformidad con la solidificación de esta estructura, es posible lograr la edificación de aportes con la capacidad de circular en redes de conocimiento especializadas. Una métrica que sintetiza este ejercicio es el índice h, cuyo objetivo principal es cuantificar las citas de una o varias obras de los autores. Además de estas características, el índice h beneficia de manera importante a las revistas científicas porque su valoración contribuye al incremento de prestigio de las mismas. Es por esta razón, que la revista *Publicaciones e Investigación* es consciente de esta necesidad de incrementar su visibilidad, por lo que apuesta a la recepción de trabajos de investigación, serios, rigurosos, asertivos, como los que hacen parte de este volumen, en la medida que la revista, y la institución que representa, tienen claro la importancia de su papel en la construcción de conocimiento, el cual es fundamental para el desarrollo de toda sociedad.

Rafael Ricardo Renteria
Director



**Revista Especializada
en Investigación**

Experiencia de usuario en el laboratorio de innovaciones tecnológicas para ambientes de experiencia (itae)

USER-EXPERIENCE IN THE LABORATORY OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS FOR ENVIRONMENTS OF EXPERIENCE (ITAE)

Ivette Kafure Muñoz¹, Jorge Luís Barreto Pereira²

¹ Faculdade de Ciência da Informação, FCI., Universidade de Brasília, UnB, Brasília, Brasil.

² Laboratório de Inovações Tecnológicas para Ambientes de Experiência (ITAE) Universidade de Brasília, UnB, Brasília, Brasil

Recibido: 13/11/2017 • Aprobado: 24/11/2017

Resumen

Este artículo trata sobre una experiencia realizada en el Laboratorio de Innovaciones Tecnológicas para Ambientes de Experiencia (ITAE) del Centro de Apoyo al Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Universidad de Brasília (UnB). Experiencia realizada con estudiantes de asignaturas de pregrado y posgrado del grupo de investigación Factores Humanos en la Interacción y Comunicación de la Información. El objetivo principal de este estudio fue identificar la percepción de los aspectos emocionales y cognitivos del usuario en la interacción y comunicación con la información. Tuvo un abordaje cualitativo, en el cual es realizada una experiencia que consiste en la interacción de los participantes con un juego llamado JuegoItae. La metodología consiste en un estudio comparativo entre alumnos que pasan por la experiencia del juego sin explicaciones o informaciones de soporte. Mientras que otros estudiantes, aunque sometidos a la misma experiencia, reciben todas las explicaciones necesarias, siendo contextualizados antes de comenzar. Los resultados indican que los estudiantes que no recibieron explicaciones previas, se sintieron incómodos, similar a los usuarios a los que les es impuesto un sistema de información sin espacio para el diálogo. Los estudiantes que recibieron todas las explicaciones necesarias, relataron en su mayoría sólo aspectos agradables en relación a la experiencia. La conclusión es que el objetivo principal de este estudio fue alcanzado, al ser identificado que los estudiantes adquirieron una mayor percepción y sensibilización en relación a la importancia de disminuir la distancia entre la representación cognitiva, el factor emocional y la representación computacional en la comunicación y mediación entre el usuario y la información.

Palabras clave: comunicación, experiencia, interacción, información, usuario.

¹ ivettek@unb.br, orcid.org/0000-0002-5758-8226

² jorge.pereira@cdt.unb.br, orcid.org/0000-0002-4069-7901

Abstract

It is an experience carried out in the Laboratory of Technological Innovations for Environments of Experience (ITAE) of the Technological Development Support Center (CDT) of the University of Brasilia (UnB), with undergraduate and postgraduate students of the Human Factors research group in Information Interaction and Communication. The main objective of this study is to identify the perception of the emotional and cognitive aspects of the user in the interaction and communication with the information. It had a qualitative approach in which it is carried out an experience that consists in the interaction of the participants with a game called JuegoItae. The methodology consists of a comparative study between students who pass through the game experience without explanation or information support, with others students, although subject to the same experience, receive all the necessary explanations, being contextualized before starting. The results indicate that the students who did not receive previous explanations felt uncomfortable, similar to the users to whom an information system is imposed without space for dialogue. The students, who received all the necessary explanations, related mostly only pleasant aspects in relation to the experience. The conclusion is that the main objective of this study was reached, as it was identified that the students acquired a greater perception and awareness in relation to the importance of diminishing the distance between the cognitive representation, the emotional factor and the computational representation in communication and mediation between the user and the information

Key words: communication, experience, information, interaction, user.



1. Introducción

Se trata de una experiencia con el *JuegoItae*, este es una versión electrónica del juego Batalla Naval (<http://cdt.unb.br/jogoitae/index.php?home>). La experiencia es realizada en el Laboratorio de Innovaciones Tecnológicas para Ambientes de Experiencia (ITAE) del Centro de Apoyo al Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Universidad de Brasilia (UnB), con estudiantes de asignaturas de pregrado y posgrado del grupo de investigación factores humanos en la interacción y comunicación de la información. La finalidad de este estudio es sensibilizar a los participantes en relación a los aspectos emocionales y cognitivos del usuario en la interacción, comunicación y mediación de la información en un contexto determinado.

Para tener en consideración la percepción de los aspectos emocionales y cognitivos de un usuario, primero es indispensable ponernos en el lugar del usuario y vivenciar sus posibles experiencias. En la práctica llevada a cabo en el ITAE (ítem IV), los alumnos tienen la oportunidad de colocarse en el lugar del usuario

(ver ítem II), en un ambiente de interacción (ver ítem III), con poco o ningún conocimiento de este tipo de ambientes. De esa manera puede ser posible facilitar el desarrollo y avance de técnicas y métodos que rubriquen mejorar la eficiencia y eficacia de los procesos de comunicación en la interacción de los usuarios con los sistemas de información (Kafure & Pereira, 2016).

El concepto de interfaz es el resultado de un proceso gradual y evolutivo. Las buenas interfaces necesitan de ajustes para ser adaptadas, constantemente, a sus usuarios, por lo que considerar al usuario como una “caja negra”, sin estudiar las funcionalidades internas y emocionales de su mente, así como examinar solo las manifestaciones externas y visibles de su entidad mental, sería negar la responsabilidad social de la interacción humano-computador.

Es necesario lanzar un puente sobre el foso que separa la ciencia (el universo de la objetividad) de la experiencia humana (el dominio de la subjetividad),

para que exista compatibilidad entre el soporte de la información y el modelo mental que los usuarios poseen de la tarea. El modelo mental comprende tanto las necesidades de búsqueda, acceso y uso de la información; como las expectativas de un uso y un aprendizaje fácil de la interfaz; y, una localización rápida de la información pretendida. Coincidencia entre la información que se pretende transferir, por medio del soporte material, y la capacidad de absorción de los usuarios que van a decodificar el mensaje, procurando una óptima comunicación en la interacción entre el usuario y la información (Kafure, 2004).

(Figueiredo, 1999) resalta los diversos canales de comunicación que se abren entre los sistemas de información y la comunidad a la que ellos sirven. La información es conceptuada como conocimiento registrado en forma escrita, impresa, digital, oral u audiovisual, en un soporte (Le Coadic, 2004). Los juegos electrónicos (*game* o juego digital), son artefactos mediáticos potenciadores de informaciones lúdicas (Souza, 2014). El término lúdico es oriundo de *ludus*, palabra del latín que significa juego, diversión. "El acto lúdico representa un primer nivel de construcción del conocimiento, el nivel del pensamiento intuitivo" (Rodrigues & Kafure, 2013). De acuerdo con (Bazílio & Soares, 2005), la actividad lúdica es una acción que genera el mínimo de diversión (Lameira & Kafure, 2013). Este estudio ilustra la relación existente entre el individuo y su contexto en la interacción y la comunicación con la información, en un ambiente de experiencia, en que el conocimiento puede ser agregado de manera divertida, cuando existe la satisfacción de las necesidades del usuario (Kafure & Pereira, 2016).

2. El usuario como fuente de información

La Ciencia de la Información está relacionada con la representación de la información en sistemas naturales y artificiales, en el uso de códigos para transmisión eficiente de mensajes y en el estudio de dispositivos y técnicas para el procesamiento de la

información, tales como los computadores y los sistemas de información (Borko, 1968). La interfaz se transforma en "información" y toda la información puede ser manipulada.

Dentro de ese contexto el usuario tiene un papel protagonista, como lo enfatiza (Capurro, 2003) con relación a un sistema de información indicando que este no está basado meramente en la correspondencia "de un dato de entrada (*input*) con otro dato previamente fijado, sino que dicho dato fijado es concebido como una oferta frente a la cual el usuario juega un rol eminentemente activo".

La principal fuente de información son los usuarios (Cunha, Amaral & Dantas, 2015), por lo que es preciso comenzar por el entendimiento del comportamiento de aquellos, con relación a la información. De acuerdo con (Miller, 1992) y (Cunha, 2003) y Cunha (2003), el 85 % de la información útil es verbal e informal, antes que las fuentes bibliográficas sean consultadas.

Un principio fundamental de la ergonomía, es el conocimiento de los usuarios y del trabajo a ser realizado, este es examinado de acuerdo con dos componentes básicos: la tarea y la actividad (Sebillote 1995; Guérin et al., 2001). La tarea o trabajo prescrito se refiere a lo que la persona debe realizar, en otras palabras, "lo que hay para hacer", el objetivo a alcanzar. La actividad es la realización de la tarea. (Richard, 1990) explica que la acción (o actividad) puede ser vista desde dos aspectos: 1) la ejecución de la acción, es decir, su modo de realización; y, 2) el resultado de la acción, en otras palabras, el estado al que se llega. Las experiencias pueden ser diversas (Pine & Gilmore, 1999). Siguiendo lo anterior, en esta investigación ha sido aplicada la técnica del análisis de la tarea y la actividad tomando como base la metodología (Kafure, 2004), que define tres momentos:

1. Antes de realizar la tarea: el usuario describe los pasos para llevar a cabo la actividad, con el objetivo de coleccionar los datos para obtener el modelo mental del usuario (Tabla 1).

2. Durante la realización de la tarea: esta etapa corresponde a la especificación de la realización de la actividad. Se soporta en el proceso de observación directa del comportamiento de los usuarios a evaluar, dado que durante esta etapa se busca que el usuario interactúe sin guía alguna durante la ejecución de la tarea.
3. Después de la realización de la tarea (actividad): consiste en cuestionar al usuario sobre la facilidad de realización de la tarea, es decir, evaluar si pudo realizar la actividad encomendada e identificar las dificultades encontradas.

Este estudio de la experiencia de la interacción del usuario, exploratorio, descriptivo con abordaje cualitativo y en algunos casos cuantitativo. Para la colecta y análisis de los datos de los tres momentos descritos arriba, se utilizan, dependiendo del contexto, diferentes métodos, como el levantamiento y/o el estudio de caso; las técnicas de colecta, como la observación semi-participante; las entrevistas, los cuestionarios y el grupo de foco; los instrumentos de colecta, como las guías de entrevista, los cuestionarios electrónicos y en papel, y el diario de campo; las técnicas de análisis, como la estadística descriptiva, el análisis de contenido, la categorización y la interpretación de los datos.

Tabla 1
Modelo Mental

Modelo Mental	
Necesidades	búsqueda, acceso y uso de la información
Expectativas	Uso y aprendizaje fácil de la interfaz; localizar rápidamente la información requerida; satisfacción en la interacción, comunicación y mediación de la información

Fuente: adaptado de Kafure (2004, 4).

La usabilidad y el factor emocional, se perfilan como áreas de investigación específicas, en el estudio de modelos de interfaces y comunicación esperados por los usuarios. Es relevante considerar al usuario, desde las primeras etapas de la concepción de la interfaz, para una

interacción y mediación de la información, más coincidente con las necesidades y expectativas de aquél.

Este estudio pretende indagar, aprender, divulgar, verificar si existe una discrepancia entre el modelo mental de los usuarios y la actividad (Tabla 1), para contribuir, con la inclusión de la objetividad de la tarea, la subjetividad y el factor emocional de los usuarios, en la generación y aplicación de recomendaciones para que la interface sea un soporte para:

- La búsqueda, acceso y uso de la información.
- La comprensión de los elementos visuales y verbales.
- La facilidad y satisfacción de uso, por medio de elementos visuales y verbales dentro de cada pantalla del ambiente de interacción.

Se debe tener en cuenta tanto la objetividad, como la subjetividad de los usuarios, que había sido relegada por los modelos teóricos de representación de la ciencia cognitiva. Carl Gustav (citado por Arnheim, 1989) afirma que, en su práctica, se sorprende al constatar, muchas veces, que los seres humanos son casi incapaces de comprender un punto de vista que no sea el propio y admitir su validez.

Muchas veces, un sistema de información es conocido por el usuario cuando ya está en funcionamiento, sin un estudio previo centrado en el ser humano y en su modo de ver, interpretar y convivir con el entorno. Esto puede generar una discrepancia entre las necesidades y expectativas del usuario y las dificultades encontradas para acceder a la información (Norman, Miller y Henderson, 1995).

En medio de la explosión de tipos de medios de comunicación en el siglo XX (Marcus Mora, 1998), y las actividades realizadas en múltiples niveles de complejidad, existen diferentes tipos de usuarios, necesidades y ritmos diferentes. Por ejemplo, usuarios que fueron adaptándose a la tecnología acompañando los cambios culturales. Y, los que nacieron concomitantemente con la aparición del computador personal, muchos de ellos, inmersos en un mundo digital de interacción con la máquina y adaptándose a sus evoluciones. Los estudios

de los usuarios resaltan los diversos canales de comunicación que surgen en medio de los sistemas de información y la comunidad a la cual ellos sirven (Kafure, 2004; Moura, 2010; Rodrigues & Kafure, 2015).

La incorporación de las nuevas tecnologías en el desarrollo de interfaces para mediación de la información, propone la interrelación entre diversas áreas, para el estudio de los usuarios, la tarea y la actividad, considerando las necesidades y expectativas de los seres humanos, pues cada área propone métodos, técnicas y aspectos específicos, en el aumento de la usabilidad y factor emocional.

3. Experiencia de usuario

En esta investigación es tomado como base el significado del concepto experiencia, de acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española (s. f.) que afirma: “hecho de haber sentido, conocido o presenciado alguien algo”.

De acuerdo con (Campelo, 2013) “hace mucho tiempo la Ciencia no se animaba a explorar lo intangible de la experiencia humana”. Investigaba lo externo, el mundo material, es decir, los “temas bien lejos de los sentimientos”. Por ejemplo, para tener éxito en la toma de decisiones, se afirmaba tradicionalmente, que era necesario evitar la intervención de las emociones. Era frecuente disociar la emoción de la razón en términos mentales y neurológicos.

Pero hoy en día eso ha cambiado, buena parte de la ciencia está hoy día dedicada a descubrir cómo es que sentimos lo que sentimos. Estudios científicos ilustran como la emoción y la cognición están absolutamente entrelazados, y, también, aclaran que la emoción auxilia a escoger entre las opciones y posibilidades diversas, en complemento con el conocimiento y la razón (Damasio, 2005; Damasio, 1994). De acuerdo con (Cañada, 2005), está demostrado que la percepción sobre un objeto cambia dependiendo si este es fácil de usar o no. De acuerdo con este autor, nunca desarrollamos vínculos emocionales positivos con algo cuyo uso sea trabajoso.

De esta manera, puede encontrarse una relación entre emoción, experiencia del usuario (UX), usabilidad y los tres aspectos del diseño sugeridos por (Norman, 2004) visceral, comportamental y reflexivo. El primero, es el diseño visceral, que hace referencia a los aspectos físicos y al primer impacto causado por un producto. El segundo, es el diseño comportamental, que dice respecto al uso del producto según el punto de vista objetivo y a la función que este desempeña. Y, el tercero, es el diseño reflexivo, que dice respecto al uso según el punto de vista subjetivo; se refiere a la interpretación, comprensión y raciocinio.

(Janczura, 1999), en investigaciones de psicología cognitiva, aclara que los usuarios de la información poseen diferencias que merecen ser estudiadas con la finalidad de crear recursos electrónicos y mecanismos para acceder a la información más adaptados al estilo de cada uno, concluyendo que:

- diferentes individuos buscan y procesan la información utilizando diferentes estrategias;
- diferentes estrategias pueden ser más o menos efectivas para diferentes personas, en diferentes contextos;
- los individuos, en alguna medida, pueden adoptar consistentemente una u otra estrategia de procesamiento de la información (tales tendencias son llamadas de estilos).

Las experiencias crean valor agregado al envolver y establecer una relación con el usuario de una manera personal (comprendiendo este emocionalmente). Involucrando la atención e interés personalizados para el usuario (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 2005; Bateson & Hoffman, 2001). La subjetividad "no ambiciona encuadrar al sujeto en una categoría teórica explicativa, sino aprender de su singularidad" (Tacca & Rey, 2008).

4. Experiencia en el itae

El ITAE es un laboratorio utilizado para capacitación por medio de juegos de inmersión. Como ambiente de experiencia, está fundamentado en cuatro pilares: educación, inmersión, entretenimiento y estética.

Conforme a los principios de la economía de la experiencia, el aprendizaje es más efectivo si involucramos al máximo los sentidos, en un ambiente agradable y divertido.

El ITAE es un ambiente de capacitación, por medio de simulaciones de la realidad, fundamentado en los principios de la economía de la experiencia. Está dotado de un sistema hipermedia, que permite el intercambio de información por diversos medios, tales como textos, vídeos, sonidos y animaciones, para promover la interacción y el aprendizaje; el ITAE está localizado en el Centro de Apoyo al Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Universidad de Brasilia (UnB) CDT/UnB (Fig. 1).



Fig. 1. Laboratorio de Innovaciones Tecnológicas para Ambientes de Experiencia (ITAE)

Fuente: ITAE/CDT/UnB.

La economía de la experiencia es una teoría desarrollada en 1999 por B. Joseph Pine y James H. Gilmore. De acuerdo con estos investigadores, el individuo no convive más en la economía agraria, ni en la industrial ni en la de servicios. Sino en la economía de la experiencia, que proporciona una experiencia para el cliente.

Aplicado a la educación, la experiencia de este estudio ha reunido grupos con diferente número de estudiantes, profesionales y rangos de edad y de áreas, tales como, ciencia de la información, administración, educación, archivología, biblioteconomía,

informática, comunicación, computación, ciencia política, diseño, psicología, marketing, filosofía, ciencias contables e ingeniería.

Para jugar el *JuegoItae*, el en el ITAE los usuarios utilizan dos mesas interactivas (Fig. 1). Dependiendo de la cantidad de alumnos, juegan en una mesa o son invitados a dividirse en dos grupos. Cuando juegan en dos mesas, el grupo de una mesa juega contra la otra. Dentro de cada mesa se juega de manera colaborativa para llegar al objetivo propuesto en el *JuegoItae*.

La experiencia ilustrada en este artículo fue llevada a cabo en un período de tres años, entre el segundo semestre de 2012 y el primer semestre de 2015. En ese período participaron 199 alumnos de la graduación y posgraduación. A algunos grupos se les explicó tanto sobre el ITAE y el *JuegoItae*, mientras otros, jugaban el *JuegoItae* sin un conocimiento previo del ITAE y el juego. Por los resultados, fue más difícil para los participantes (usuarios) interactuar con el *JuegoItae* y situarse dentro del ITAE, cuando no recibían ninguna ayuda ni explicación. Lo que llevó a constatar la discrepancia entre el modelo mental de los usuarios y la actividad en relación al aspecto cognitivo (Tabla 1). Es decir, a comprobar que existe una distancia entre lo que los participantes/usuarios van a realizar y los ambientes de interacción, cuando los usuarios no hacen parte del desarrollo/creación de los juegos (o sistemas de información) y los ambientes de interacción (Kafure, 2004; Kafure & Pereira, 2016; Café & Kafure, 2017).

Para citar un ejemplo, de 20 alumnos de una signatura de pregrado, de uno de los semestres en que fue realizada la experiencia, 18 tuvieron dificultad cuando jugaron sin explicaciones previas sobre el funcionamiento del *JuegoItae* y el ITAE antes de la interacción con los mismos; y, a 14 les habría gustado recibir explicaciones previas antes de jugar (Fig. 1).

Los resultados muestran que ha mejorado la interacción con el *JuegoItae* y el ITAE cuando han sido utilizadas explicaciones previas, indicadas en la colecta de datos, tanto en el pregrado como en el posgrado,

respondiendo un 100 % de los alumnos con un "si" a la pregunta: "Fue fácil de entender el contenido, comparado con la experiencia anterior sin explicaciones en el ITAE" (Kafure, 2004; Kafure y Pereira, 2016).

Con relación al factor emocional, antes y después del *JuegoItae.*, el 100 % de las respuestas indicaron que el aspecto emocional de los participantes cambió después interactuar con *JuegoItae.* Algunos expresaron que el desánimo y el cansancio desaparecieron después del *JuegoItae.*: "Estaba cansada cuando llegué, pero ahora estoy más dispuesta"; "Mi estado de ánimo cambió: antes estaba desanimada, ahora me siento bien, llena de energía, alegre"; "Superó mis expectativas en relación a lo que esperaba"; "Estaba desmotivada, cansada. Estoy más dispuesta y más alerta"; "Me gustó mucho la sala oscura con luces y la música agitada, me sentí motivada y feliz"; "Me siento motivado y alegre".

Durante el *JuegoItae.*, algunos de los usuarios expresaron: "Me sentí súper feliz al ver los conceptos de la asignatura siendo manipulados en el juego"; "Tensión, ¡¡¡nerviosismo!!! Fue muy divertido"; "No esperaba que el juego fuera tan emocionante"; "Si, me sentí competitivo y con el deseo de acertar todas las repuestas para no decepcionar al grupo"; "Pienso que aprendí algunas respuestas, aunque era un juego con el tiempo limitado para leer el texto y comprenderlo"; "Todo inesperado, no tenía la expectativa de utilizar juegos electrónicos para provocar emociones".

5. Consideraciones finales

Para la colecta y el análisis de los datos fueron considerados tres momentos: antes, durante y después de la realización de tarea (Kafure, 2004; Café y Kafure, 2017). En este estudio, los alumnos son invitados a colocarse en el lugar del usuario, a sentir en sí mismos, las dificultades por las cuales podrían pasar los usuarios.

Identificar los aspectos emocionales y cognitivos, en la interacción y mediación de la información. Es un concepto relacionado con la empatía. De acuerdo

con el diccionario Houaiss la empatía es el "proceso de identificación en que el individuo se coloca en el lugar del otro y, con base en sus propias suposiciones o impresiones, intenta comprender el comportamiento del otro" (Houaiss, 2004).

Los alumnos fueron observados posicionándose en lugar del usuario; sus reacciones; el comportamiento en la interacción con la información o desinformación; de qué manera estarían llegando, o no, al objetivo pretendido; si se creaban estrategias o intentaban adivinar las respuestas; si eran utilizadas o no las informaciones de ayuda disponibles en el *JuegoItae.*; y, si la presión de tiempo los hacía responder de manera equivocada o no.

Los estudiantes expresaron que la experiencia fue muy interesante; y, se mostraron dispuestos a vivenciar lo que era propuesto, y todavía mejor; se sorprendieron positivamente al conocer el ITAE; les gustó mucho el ambiente del laboratorio. Se observaron cambios en el estado de ánimo, por un estado más alegre comparando con antes de la experiencia. Por otro lado, se compararon sus dificultades de interacción, con las sentidas en otras ocasiones y ambientes de correlación, por ejemplo, cuando utilizaron un sistema de información por primera vez y/o en la inexistencia de soporte.

Los estudiantes, interactuaron de manera espontánea, relajada y divertida, y se mostraron despreocupados con los resultados; o, tensos y ansiosos, cuando la necesidad de producir soluciones rápidas era perentoria. Se debe señalar que el comportamiento de los alumnos ha sido variado: en algunas ocasiones, cuando no les era ofrecido soporte o contextualización, no sabían que tenían que competir contra otros estudiantes. Sin saber, que en ocasiones la idea era jugar de manera colaborativa. En otras oportunidades, existieron líderes que direccionaban las acciones en la interacción con el *JuegoItae.*; pero, en general, prevaleció el trabajo colaborativo.

Quienes iban conociendo el *JuegoItae.*, consiguieron observar otras cosas que pasaron desapercibidas al comienzo. También apreciaron la posibilidad de asociar

el diseño con la tecnología; enfatizaron la importancia del estudio y entendimiento del usuario. Cuando los usuarios no recibieron la contextualización, tuvieron más dificultades en comprender lo que había que hacer, sin embargo, manifestaron también, que el número de jugadores hacía diferencia para ellos.

Los resultados de la experiencia ilustraron que la experiencia reforzó el contenido y objetivo de las asignaturas. Es decir, los alumnos adquirieron una mayor percepción en relación a la relevancia de los aspectos emocionales y cognitivos del usuario en la comunicación y mediación de la información.

Después de la experiencia, los participantes se sientan en círculo para conversar sobre lo acontecido, escuchan y son escuchados. También buscar en sus propios esquemas internos el sentido que puedan haber tenido su participación. Por otro lado, quien trabaja en el ITAE ha expresado que la experiencia realizada en estas asignaturas los ha auxiliado en la elaboración de un *JuegoItae* más intuitivo. Los resultados confirmaron que a pesar del progreso, cuidados, esfuerzo, esmero e intencionalidad para una buena interacción con el *JuegoItae*. Es fundamental percibir que tiene que ser mejorado. Si el *software* está siendo o no explicativo para el usuario.

Frente a la discrepancia entre el modelo mental y la interfaz, surge la estrategia de regulación para adaptar la interfaz al modelo mental de los usuarios, que consiste en la obtención y aplicación de recomendaciones (Fig. 2), teniendo como meta afinar la usabilidad y el factor emocional.

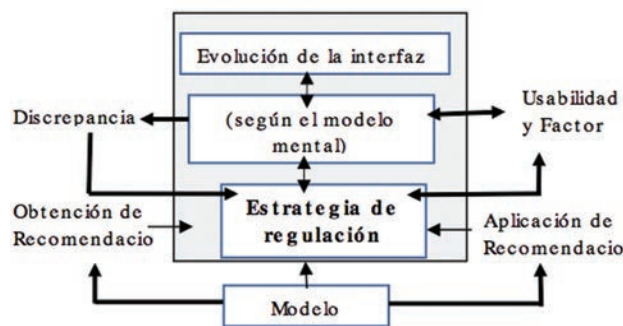


Fig. 2. Estrategia de regulación en la adaptación de la interfaz al modelo mental

Fuente: adaptado de Kafure (2004, 235).

Al iniciar el proceso de regulación, puede ser que el modelo mental de los usuarios, así como el modelo conceptual de los profesionales de la información y de los analistas se posicionen de manera diferente delante de la interfaz, sin embargo, en la realidad estos pueden sobreponerse constantemente, pues toda creación o regulación en el sentido de la disminución de la distancia entre el modelo mental y la interfaz, se descompone en creaciones parciales (o procesos de regulación), entre las que se interponen juicios, actos de aceptación o rechazo en concordancia o no con la usabilidad y el factor emocional. Aunque todavía es necesario disminuir la distancia entre la representación cognitiva que los usuarios tienen de la tarea y la representación computacional (Kafure, 2004) en un proceso de regulación. Los miembros del ITAE manifestaron que la participación de los estudiantes en el mismo ha ayudado a centrar el desarrollo en el usuario, siendo analizadas las reacciones de las personas para tornar los juegos más ergonómicos.

Escuchar los comentarios de los participantes al final de la experiencia, ha contribuido en la percepción de los aspectos emocionales y cognitivos de los usuarios, así como a un mejor entendimiento de estos, y, abrir la mente para diferentes e inusitados puntos de vista: "Escuchar los usuarios y reflexionar sobre ello agrega un conocimiento muy difícil de adquirir en los libros (Pereira, 2015).

El *JuegoItae* produce informes que registran diversas datos: cuantos estudiantes jugaron, en que día, hora y los puntos que obtuvieron. Para los miembros del ITAE los informes son muy útiles para resolver algunas dudas, ya que muchos datos son útiles para saber lo que sucedió en el *JuegoItae* y verificar posibles fallas. Siempre que hay un problema en el *JuegoItae*, es posible analizar el informe para saber si hubo una falla del programa e intentar corregir. Si no fuera por los informes no podrían ser buscados, ni encontrados, los errores que existen y los que no; muchos datos de los informes fueron utilizados para ajustar el *JuegoItae*, para disminuir el factor suerte y aumentar la chance de quién tiene un comportamiento emprendedor.

El *JuegoItae* también existe en la web, también fue creada una aplicación para celular, con el que se ha realizado otra experiencia del usuario en mayo de 2015, que podrá ser analizada de manera comparativa en un próximo artículo.

Referencias

- Arnheim, R. (1989). *Intuición e intelecto na arte*. São Paulo: Martins Fontes.
- Bateson, J. E. G. & Hoffman, K. D. (2001). *Marketing de serviços*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman.
- Bazílio, H. O. & Soares, M. H. F. B. (2005). Elaboração de jogos e atividades lúdicas para ensinar o conceito de lei de Laivosier. In: Congresso de Pesquisa, ensino e extensão da UFG – CONPEEX, 2., 2005, Goiânia. Anais eletrônicos do II Seminário PROLICEN [CD- ROM], Goiânia: UFG.
- Borko, H. (1968). Information science: what is it? *American Documentation* 19(1), 3-5.
- Café, L. C & Kafure, I. (2017). Evaluación de la usabilidad del repositorio institucional de la Universidad de Brasília. *Revista General de Información y Documentación*, 27, 87-106.
- Campelo, F. F. (2013). Ciencia de las emociones: llegó la hora de llegar a todos. *Cuad. Neuropsicol.*, 7(2), 87-91.
- Cañada, J. (2005). Entrevista sobre los paradigmas del diseño, En *Diseño emocional: definición, metodología y aplicaciones*, Santiago de Chile.
- Capurro, R. (2003). V Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação. Conferência (*keynote speaker*): Epistemologia e ciência da informação. Belo Horizonte, Brasil, 10-12/12/ 2003.
- Cunha, M. B. da, Amaral, S. A. do & Dantas, E. B. (2015). *Manual de Estudo de Usuários da Informação*. São Paulo: Atlas.
- Cunha, M. B. da. (2003). *Notas de aula da disciplina: Fontes para a Recuperação da Informação*. Brasília: UnB, Departamento de Ciência da Informação e Documentação.
- Damásio, A. R. (2005). Somos esclavos de las emociones y del entorno. *El País*, 21 de octubre de 2005. Recuperado en: https://elpais.com/diario/2005/10/21/sociedad/1129845609_850215.html
- Damásio, A. R. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. New York: Grosset/Putnam.
- Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., Duraffourg, J. & Kerguelen, A. (2001). *Comprender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia*. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda.
- Figueiredo, N. M. de. (1999). *Avaliação de coleções e estudo de usuários*. Brasília: ABDF.
- Fitzsimmons, J. A. & Fitzsimmons, M. J. (2005). *Administração de Serviços: operações, estratégia e tecnologia da informação*. 4a Ed. São Paulo: Bookman.
- Houaiss, M. S. (2004). *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva.
- ITAE/CDT/UnB. (2011). *ITAE – Inovações Tecnológicas para Ambientes de Experiência*. Jogo ITAE. Recuperado en: <http://www.cdt.unb.br/>
- Janczura, G. A. (1999). *Acessibilidade conceitual em tarefas de categorização e memória*. Brasília: Universidade de Brasília: CNPq.
- Kafure, I., & Pereira J. L. B. (2016). Aspectos emocionais e cognitivos do usuário na interação com a informação: um estudo de caso no Laboratório de Inovações Tecnológicas para Ambientes de Experiência (ITAE). *Perspectivas em Ciência da Informação*, 21(3), 222-239.
- Kafure, I. (2010). Usabilidad y diseño emocional en la gestión de la información. *Hélice - Revista Venezolana de Ciencias de la Información*, 1(1), 1-17.
- Kafure, I. (2004). Usabilidade da imagem na recuperação da informação no catálogo público de acesso em linha. Tese, Doutorado em Ciência da Informação. Brasília: Universidade de Brasília.
- Lameira, A. K. & Kafure, I. (2013). Informação lúdica como ferramenta de aprendizado para nativos digitais. (Apresentação de Trabalho/Iniciação Científica). Brasília: Universidade de Brasília.
- Le Coadic, Y. (2004). *A ciência da informação*. Brasília: Briquet de Lemos/Livros.
- Marcus Mora, M. C. (1998). Motores de recuperación de información: un análisis comparativo. *El profesional de la información*, 7(1-2). Recuperado en: http://www.elprofesionaldelainformacion.com/contenidos/1998/enero/motores_de_recuperacion_de_informacion_un_analisis_comparativo_parte_i.html
- Miller, K. (1992). *O Óleo de Lorenzo*. Dirección George Miller. Produção: Arnald Burk. Roteiro: Doug Michelle e George Miller. City studios: Universal pictures. Filme (1:34 min).
- Moura, R. (2010). Usabilidade infantil: um olhar atento aos nativos digitais. Monografia (Bacharelado em Biblioteconomia). Brasília: Universidade de Brasília.
- Norman, D. A., Miller, J. & Henderson, A. (1995). What You See, Some of What's in the Future, And How We Go About Doing It: HI at Apple Computer. Proceedings of CHI 1995, Denver, Colorado, USA.
- Pereira, J. L. B. (2015). Entrevista a experiência do usuário no ITAE, Brasília, 2015.
- Pine, B. J. & Gilmore, J. H. (1999). *The Experience Economy*, Boston: Harvard Business School Press.
- Real Academia Española. (s. f.). Experiencia. En *Diccionario de la lengua española* (avance de la 23.ª ed.). Recuperado de: <http://dle.rae.es/?id=H1eIZIn>

● ● ● **Ivette Kafure Muñoz, Jorge Luís Barreto Pereira**

Experiencia de usuario en el laboratorio de innovaciones tecnológicas para ambientes de experiencia (ITAE)

Richard, J. F. (1990). *Les activités mentales: comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris: Armand Colin.

Rodrigues, V. R. & Kafure, I. (2015). Comunicação e mediação entre a criança da primeira infância e a informação digital na educação Infantil. *Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia*, 10, 69-80.

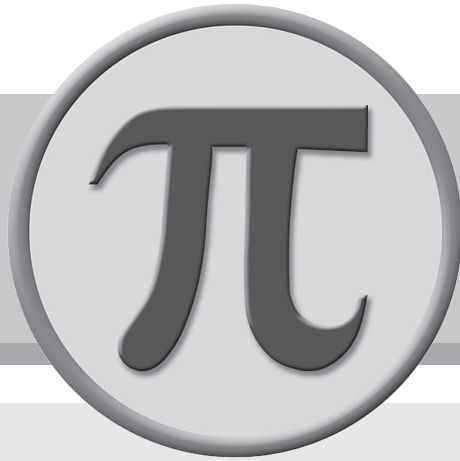
Rodrigues, V. R., Kafure, I. (2013). A interação entre a criança da primeira infância e a informação digital. *Biblionline (João Pessoa)*, 9, 75-95.

Sebillote, S. (1995). Task TD-5: methodology guide to task analysis

with the goal of extracting relevant characteristics for interfaces, Esprit 3 Projet: P6593, "INTUITIVE", INRIA Ronquencourt.

Souza, A. (2014). Comunicação e Mediação da Informação no Desenvolvimento do Jogo Eletrônico. 2014. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação). Brasília: Universidade de Brasília.

Tacca, M. C. V. R. & Rey, F. L. G. (2008). Produção de sentido subjetivo: as singularidades dos alunos no processo de aprender. *Psicol. cienc. prof.*, 28(1). Recuperado en: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-98932008000100011



INTERACCIÓN DEL USUARIO SORDO CON LA INFORMACIÓN DE SITIOS WEB DEL GOBIERNO BRASILEÑO

DEAF USER INTERACTION WITH INFORMATION OF BRAZILIAN GOVERNMENT WEBSITES



Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos ¹,
Ivette Kafure Muñoz ²

¹ Câmpus Brasília, Instituto Federal de Brasília Brasília, Brasil, ² Universidade de Brasília Brasília, Brasil

Recibido: 15/11/2017 • Aprobado: 25/05/2017

RESUMEN

La accesibilidad de los sitios web en Brasil ha sido regulada por la publicación de las normas que han surgido a partir de los modelos internacionales. Sin embargo, a pesar de que se ha logrado un mejor desarrollo de las interfaces de comunicación de los sitios web, todavía se debe mejorar este direccionamiento para satisfacer las necesidades del usuario sordo. Esta investigación ilustra los resultados de unas pruebas iniciales realizadas dentro de una investigación de doctorado que se está llevando a cabo en el Programa de Posgrado en Ciencia de la Información de la Universidad de Brasília. El objetivo de la investigación es evaluar la accesibilidad de sitios web del gobierno brasilero desde el punto de vista del usuario sordo en la búsqueda y recuperación de la información.

Palabras clave: accesibilidad, información, gobierno brasilero, tecnologías, usuario sordo.

ABSTRACT

The accessibility of web sites in Brazil has been regulated by the publication of standards emerged from international models. But, despite a better development of the Web sites communication interfaces has been achieved, this address must still be improved to satisfy the needs of the deaf user. This research illustrates the results of some initial tests carried out in a doctoral research carried out in the postgraduate program in Information Science at the University of Brasilia. The objective of the research is to evaluate the accessibility of websites of Brazilian government, from the point of view of the deaf user in the search and retrieval of information.

Key words: accessibility, Brazilian government, deaf user, information, technologies.

¹ sylkarla@gmail.com, orcid <https://orcid.org/0000-0001-8490-5883>

² ivettekead@gmail.com, orcid <https://orcid.org/0000-0002-5758-8226>

1. INTRODUCCIÓN

La evolución de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ha propiciado la popularización y el surgimiento de los dispositivos móviles y sitios web. Este cambio también ha posibilitado la mejora de la comunicación entre las personas y el acceso a la información, incluidas las personas con deficiencias y, en particular, aquellas con deficiencia auditiva o sordas.

El desarrollo de un sitio web debe ir más allá de posibilitar la navegabilidad, por medio de la utilización de imágenes y colores atractivos. (Ramírez & Napoli, 2009) resaltan que la interfaz con el usuario es un ítem importante a ser considerado en la implementación de un software. En este sentido, es imprescindible verificar las necesidades del usuario y sus preferencias al utilizar un programa de ordenador.

Este artículo ilustra los resultados de unas pruebas iniciales realizadas dentro de una investigación de doctorado que se está llevando a cabo en el Programa de Posgrado en Ciencia de la Información de la Universidad de Brasília. El objetivo general de la investigación es evaluar la accesibilidad en la búsqueda y la recuperación de la información en sitios web del gobierno brasileiro desde el punto de vista del usuario sordo. Los objetivos específicos son (1) conocer el perfil sociodemográfico de las personas sordas; (2) identificar las necesidades informativas del usuario sordo en sitios del gobierno brasileiro; (3) analizar el factor emocional del usuario sordo en la búsqueda y la recuperación de la información en sitios web del gobierno brasileiro; (4) elegir las principales dificultades de accesibilidad en sitios web del gobierno brasileiro, experimentadas por el usuario sordo durante la búsqueda y recuperación de la información.

2. ANTECEDENTES

La propuesta de investigación se justifica por considerar que las personas sordas, como usuarios

potenciales de las tecnologías digitales, tienen necesidad de acceder a las informaciones con autonomía y hacer uso de los sistemas de información de alcance nacional. Este presupuesto tiene como base la convivencia de una de las investigadoras con personas sordas en un grupo de investigación, además de la experiencia como docente en la realización profesional y de su participación en la comunidad sorda local en la ciudad de Brasilia, Brasil.

Al tratar el término de la discapacidad como exclusivamente fisiológico, el pueblo sordo es encarado desde una perspectiva de déficit, falta de algo, dentro de un discurso de normalización y de medicalización (Gesser, 2009). Este trabajo hará referencia al término “sordo”, aunque la legislación brasileira (Brasil, 2015) trate como “persona con discapacidad auditiva”. Aquí, la sordera será considerada como una diferencia lingüística y cultural, y no como una discapacidad (Brasil, 2002).

En Brasil, la Lengua Brasileira de Señas - Libras, es reconocida como medio legal de comunicación y expresión, comprendiendo un “sistema lingüístico de naturaleza visual-motora, con estructura gramatical propia [...] oriundos de comunidades de personas sordas de Brasil” (Pivetta, Saito & Ulbricht, 2014). La Ley N° 10.436/2002 que lo creó añade en su párrafo único que “Libras no pueden sustituir a la forma escrita de la lengua portuguesa”. Por lo tanto, la comunidad sorda aprende Libras como primera lengua y aprende el idioma portugués como segundo idioma de escritura.

En la ciencia de la información (CI), la investigación se encuadra en la línea de comunicación y mediación de la información y en el área de estudio de usuarios, cuyo término surgió en la década de 1960 (Cunha, 1982). El foco de la CI, que antes estaba en las etapas de desarrollo del sistema, pasó a considerar el comportamiento del usuario en relación a sus necesidades de información.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Estudiar el usuario de la información es parte de lo que la ciencia de la información trata, estando de acuerdo con la propuesta presentada. Sin embargo, percibir lo que la persona con discapacidad auditiva necesita al intentar acceder a la información, en especial la información en medio digital y disponible en la web, no ha sido fruto de un número considerable de trabajos de investigación. Este hecho se verifica mediante la realización de un estudio en las publicaciones Portal Capes - Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior de Ministério de la Educación (<http://www.periodicos.capes.gov.br/>), teniendo en cuenta las palabras “persona sorda”, “accesibilidad” e “información” fueron encontradas nueve publicaciones en portugués y en inglés (no fueron encontradas publicaciones en lengua española) entre los años 2007 y 2017, siendo tres de éstas en el último año. Tal hallazgo demuestra la reciente preocupación por la temática.

Los estudios actuales revelan el desarrollo de investigaciones que consideran al público formado por las personas con discapacidad auditiva, cuya elección se da por la afinidad de los investigadores con el objeto y la importancia que éstos atribuyen a las investigaciones en favor de aquellos, una vez que ante las limitaciones que poseen las personas con discapacidad, es necesario realizar iniciativas que las beneficien y proporcionen la construcción de acciones para auxiliar sus procesos de enseñanza-aprendizaje en el ámbito académico (Ramalho, Hamad & Guimarães, 2016).

La historia de la evolución de la web señala que su paso de la versión 1.0 a 3.0 modificó los hábitos de los usuarios, de meros lectores a ser productores de la información, lo que también acarrió cambios en el modo de leer. Con el avance tecnológico, lo que estaba primordialmente disponible en medio impreso pasó a ser multimodal, con la prevalencia del uso de imágenes y videos, además de textos y audios (Maroun, 2006; Castro & Calixto, 2016).

Para las personas sordas, el celular pasó a ser una herramienta de interés para la comunicación también en el medio escolar, una vez que amplía las posibilidades de aprendizaje en Libras y las tecnologías digitales vienen a promover alternativas más acordes con las demandas de estudiantes sordos (Corradi, 2007; Vasconcelos Gurguel, 2015; Nascimento & Pantoja, 2016). Estas características hacen que el usuario sea más libre para elegir el soporte físico que desea, ya sea un libro o un equipo electrónico, como el teléfono inteligente.

4. METODOLOGÍA

4.1 Caracterización de la investigación

La investigación tiene carácter descriptivo, ya que pretende investigar los hábitos de las personas sordas ante el uso de las TIC, además de caracterizar su comportamiento ante la búsqueda y recuperación de la información en sitios web del gobierno.

El estudio propone un enfoque de métodos mixtos, también denominada cuali-cuantitativa (Cunha, 1982). Esta combinación busca recopilar datos cuantitativos y cualitativos, para una posterior integración e interpretación de los datos, tanto con informaciones numéricas como de texto, llevando el análisis estadístico y textual (Creswell, 2010).

Al hacer uso de un instrumento estructurado, como el cuestionario, esta investigación tiene carácter cuantitativo. Sin embargo, también se encuadra como investigación cualitativa y tiende exploratoria al estimular a los entrevistados a pensar, además de buscar aspectos subjetivos de manera espontánea.

La encuesta cuenta con una etapa de entrevista para el conocimiento del perfil sociodemográfico de los usuarios, seguida del levantamiento de las necesidades informacionales a partir del acceso a sitios web del gobierno brasilero. Los sitios web enumerados para esta fase son: Receita Federal de Brasil (<http://idg.receita.fazenda.gov.br/>) y Plataforma Lattes del CNPq (<http://lattes.cnpq.br/>) - Consejo Nacional de

Desarrollo Científico y Tecnológico. La justificación para la elección de estos sitios web está de acuerdo con el grupo de edad de los entrevistados y su ocupación, al considerar que el grupo de usuarios son adultos, actúan como profesores de educación superior y son investigadores académicos.

4.2 Población y muestra

Según datos del Censo 2010 del Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística - IBGE (Brasil, 2012), el 6,2% de la población brasileira tienen algún tipo de discapacidad. De estos, casi 10 millones de brasileiros poseen discapacidad auditiva, lo que equivale al 5,1%. En el Distrito Federal (DF), donde se localiza la capital de Brasil, este porcentaje corresponde al 4,1% de la población local, que totaliza más de 100 mil personas.

En este universo, se propone investigar una muestra de usuarios compuesta por personas sordas, residentes en el DF y que actúan en la educación superior en instituciones públicas y privadas. Esta característica presupone una frecuencia de uso de sitios web del gobierno brasileiro, teniendo en cuenta la necesidad de declaración del impuesto sobre la renta anual, por ejemplo. De esta forma, también se presupone la necesidad de uso del sitio web del CNPq para actualización de currículos, en lo que se refiere a investigadores académicos, además de sumisión de propuestas de investigación y extensión. La muestra estará compuesta por un grupo cuya elección se hará de forma aleatoria, del que está prevista la existencia de 19 participantes.

4.3 Pruebas preliminares

Como forma de conocer los hábitos digitales y el comportamiento informativo de los usuarios de la investigación, se realizaron tres pre-pruebas (pre-test) durante el primer año del doctorado, siendo una en cada semestre de 2016, además de una prueba en el primer semestre de 2017. Las tareas fueron aplicadas durante las asignaturas cursadas en los períodos mencionados y contó con la participación de individuos oyentes y sordos. Esta fase exploratoria es más apropiada para

las primeras etapas de la investigación, cuando se tiene una noción muy superficial del problema de investigación (Cunha, Amaral & Dantas, 2015).

Prueba 1

La primera prueba (P1) buscó evaluar la accesibilidad de un sitio web académico bajo la percepción de los usuarios. Fue aplicado un cuestionario y propuestas dos tareas para conocer el comportamiento del usuario. (Santos, 2016). La realización de las pruebas ocurrió en momentos distintos. Se sometieron 16 cuestiones, siendo 13 objetivas y tres de respuesta abierta. Las preguntas fueron sobre la existencia y el acceso al sitio web del Instituto Federal de Brasilia (IFB). Para los usuarios que ya han accedido al sitio web IFB, se cuestionó sobre el tipo de información buscada, la frecuencia de acceso, la tecnología utilizada (ordenador, notebook, smartphone y tablet), y la percepción en cuanto a la interfaz gráfica y la navegación. Participaron ocho oyentes y cuatro sordos. Las respuestas coincidieron para estos usuarios en cuanto a preferencia de tecnologías, indicando que el uso de la notebook es el más adoptado. En cuanto a la interfaz gráfica, la mayoría de los oyentes creyó que era accesible, pero apuntaron el exceso de información distribuida en la página. El grupo de sordos afirmó que la página no tiene accesibilidad, principalmente para aquellas que tienen discapacidad visual o auditiva. Este hecho se acentúa al considerar la información predominante en portugués con ninguna opción en Libras.

Sobre las tareas propuestas, la primera fue la búsqueda de una noticia en el sitio web, que fue encontrada por todos los participantes oyentes. Sin embargo, sólo la mitad de los participantes sordos (2) consiguió encontrar la noticia. La segunda tarea solicitó la búsqueda de una resolución, que es un documento publicado por el IFB y que está disponible en el sitio web. La mayoría de los oyentes (5) la encontraron, mientras que ninguno de los sordos lo encontró.

Los resultados de P1 muestran la percepción de que el sitio web, verificada su interfaz gráfica, tiene una gran cantidad de información en la lengua portuguesa.

La página del IFB se desarrolla con un software libre, denominado *Joomla*, que contiene algunas características mínimas de accesibilidad incorporadas. La barra de búsqueda no atiende a las necesidades de los usuarios, ya que limita la cantidad de caracteres introducidos y, consecuentemente, los resultados encontrados. Se observa que el sitio web cuenta con el icono “accesibilidad en Libras”, disponible en la parte superior derecha de la página principal (Fig. 1). La implementación de esta herramienta se llevó a cabo desde julio de 2016 en todos los sitios web del poder ejecutivo brasileiro. Para su uso, es necesario descargar e instalar el software *Vlibras* en el ordenador del usuario, lo que no es viable cuando se accesa desde ordenadores de uso público.



Fig. 1. Pantalla principal del sitio web IFB.

Fuente: <http://www.ifb.edu.br> Acceso en: 07 de junio de 2016.

Prueba 2

En otro momento, se realizó la Prueba 2 (P2) que buscó comprender cómo se da la interacción del usuario con información visual contenida en campañas publicitarias en formato de carteles. Los instrumentos de recolección de datos utilizados fueron formulario en línea por escrito en lengua portuguesa, tanto para el grupo de oyentes y para sordos, y el uso de la técnica de la observación participante.

Para la realización de esta prueba (P2) fueron seleccionados seis carteles de campañas publicitarias del

Ministerio de Salud de Brasil. Las campañas fueron elegidas por medio de la herramienta *Google Imágenes* e incluyeron aquellas entre los años 2011 y 2016. Los temas fueron: (1) tabaquismo, (2) donación de sangre, (3) mosquito *Aedes aegypti*, (4) lactancia materna y (5) vacunación contra la hepatitis.

El grupo de oyentes fue reunido en una sala de la Facultad de Ciencia de la Información durante la clase de “Factores humanos en la interacción con la información” para los que se presentó la imagen de los carteles, una a una, con la información escrita cubierta por una banda negra, con el uso del proyector de diapositivas (Fig. 2).



Fig. 2. Cartel de la campaña de vacunación contra la hepatitis B con contenido textual oculto.

Fuente: Campaña Nacional contra la Hepatitis (2012).

A continuación, los participantes fueron invitados a verbalizar sobre qué campaña publicitaria el cartel estaba relacionado. Las percepciones de cada participante fueron registradas por la investigadora. Al final de la presentación de las seis campañas, los participantes asistieron a la presentación de un vídeo solamente en Libras, cuya interpretación fue hecha con el software *ProDeaf* que utiliza un avatar para realizar la traducción del contenido del último cartel presentado, que trataba de la campaña de vacunación contra la

hepatitis tipo B. Por último, se presentó a los participantes los carteles de cada una de las campañas con la información original.

La segunda etapa del P2 contó con la participación de seis individuos sordos y fue aplicada al final del mes de octubre de 2016. En esta etapa, la realización se dio por medio virtual, a partir del envío de un mensaje de texto con el uso de una aplicación de chat. Para ello, se tomó el cuidado de elaborar un mensaje corto, conteniendo una breve explicación de la investigación, el propósito y la orientación para la realización de la tarea, además de proporcionar el enlace para acceder a un formulario en línea. La adopción de este procedimiento considera el conocimiento de los participantes del lenguaje escrito en lengua portuguesa y la viabilidad de aclarar posibles dudas de forma individual a través de la aplicación. La recolección de respuestas del formulario se cerró tras una semana del envío de la invitación y alcanzó el cuantitativo de seis participantes. Cada imagen fue presentada en el formulario seguido de la pregunta: “¿qué campaña del Ministerio de Salud corresponde a este cartel?”. Las respuestas se llenaron libremente por el usuario en un campo abierto, sin opciones predeterminadas.

El grupo de oyentes obtuvo como acierto los temas de los carteles 1, 3, 4 y 5, mientras que el grupo de sordos sugirió respuestas acertivas a los carteles 4 y 5. De esa forma, entre los seis carteles escogidos sólo dos tuvieron respuestas que coincidieron para los dos grupos de participantes (4 y 5), lo que puede indicar que la interacción con la imagen tuvo el mismo factor humano, la misma percepción. Para los carteles 2 y 6, las respuestas no tuvieron correspondencia con el tema de la campaña, lo que apunta a la necesidad de adecuación de la imagen al mensaje que se desea transmitir.

Los participantes comentaron que al mostrar la imagen de una joven mujer sonriente (Fig. 2), no se puede hacer referencia a la necesidad de preocupación por la enfermedad, lo que lleva a la comprensión del mensaje como dependencia de un texto escrito explicativo. En la concepción de algunos participantes, las campañas son

impuestas al público y quienes las planean no consideran las especificidades de aquellos que se desea alcanzar. Para algunos de estos participantes, es necesario que los responsables de la elaboración de las campañas consideren que las imágenes necesitan despertar la curiosidad del usuario y que se creen estrategias para causar el impacto deseado en el público. En este sentido, (Kafure et al. 2013) resaltan la importancia del estudio de usuarios para conocer quién es ese usuario, cuáles son sus necesidades de información y cómo la utilizan, así como cuáles son sus comportamientos de búsqueda.

Prueba 3

La tercera prueba (P3) fue realizada en mayo de 2017, con una nueva propuesta para investigar el comportamiento de los usuarios ante el acceso a los servicios y a las informaciones disponibles en la web. La experiencia planificó la participación de sordos y oyentes durante la realización de inscripción on-line en dos sistemas de proceso selectivo para cursos técnicos y tecnológicos.

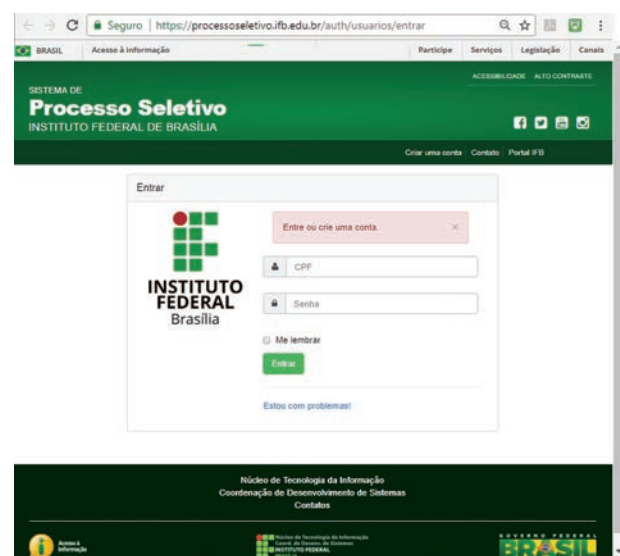


Fig. 3. Pantalla principal del sistema de proceso selectivo del IFB.

Fuente: <https://processoseletivo.ifb.edu.br> Acceso en: 05 de mayo de 2017.

El primer sistema elegido fue del IFB (Fig. 3), oportunamente indicado por estar con período de inscripciones abiertas por el enlace <https://processoseletivo.ifb.edu.br>.

Para permitir la interacción con un sistema supuestamente desconocido por los participantes, considerando que todos son servidores o alumnos del IFB, el segundo sistema escogido fue el del Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), disponible por el enlace <https://sistemadeingresso.ifsc.edu.br> (Fig. 4). Fue verificado que cada sistema hace referencia a una denominación diferente, a saber “sistema” y “portal”, aunque ambos tienen el mismo objetivo, que es permitir la inscripción on-line de candidatos interesados a las vacantes en cursos. Fueran cuatro participantes de esta prueba (P3), entre los cuales un estudiante con dislexia y una estudiante con discapacidad visual.



Fig. 4. Pantalla principal del sistema de proceso selectivo del IFSC.

Fuente: <https://sistemadeingresso.ifsc.edu.br> Acceso en: 08 de mayo de 2017.

Las preguntas abordaron la percepción de los usuarios en relación al llenado del formulario de registro, la comprensión del proceso de admisión, la elección por el curso y la validación de la inscripción. Se resalta que los participantes fueron orientados a no finalizar el proceso de inscripción, o sea, no debían generar intención real para llenar la vacante.

Los cuatro participantes oyentes fueron reunidos el 9 de mayo de 2017 en una misma sala con ordenadores. La invitación a estos usuarios fue hecha por *e-mail* por la investigadora que actuaba como su profesora.

Cada participante interactuó con el sistema siguiendo un procedimiento que fue enviado por *e-mail* de manera escrita. La respuesta a cada pregunta debería ser encaminada en el cuerpo del mensaje, utilizando la opción “Responder”. Como todos ya habían accedido al sistema anteriormente, tres hicieron el acceso inmediato por medio de nombre de usuario y contraseña y uno de ellos tuvo que recuperar la contraseña, pues no la recordaba.

Acerca de las orientaciones contenidas en el anuncio de selección, la mayoría cree que hay claridad y sólo un participante declaró que no hizo la lectura del pliego porque cree ser un “texto agotador” y, por eso, prefiere pedir a la otra persona que lea y haga una síntesis de lo que es importante. En cuanto a los cursos deseados, todos los participantes encontraron los que estaban disponibles durante la vigencia del plazo de inscripción y no mostraron dificultades.

Para la etapa de validación de la inscripción, la mayoría no tuvo dificultades para cumplir, pero uno de los participantes afirmó que no comprendió cómo realizar esa etapa y contó con la ayuda de un colega para proseguir. Este paso de validación tiene como requisito obligatorio al candidato ver un vídeo y anotar los códigos que aparecen al azar en una de las esquinas del vídeo. Según los participantes, la atención de quien está accediendo al sistema es desviada hacia los códigos y acaba retirando el foco del contenido del vídeo. Esto fue señalado como un punto confuso por dos participantes. Sin embargo, la etapa de desbloqueo fue alcanzada por todos los participantes.

Como sugerencias, se apuntó la posibilidad de proporcionar orientaciones presenciales para atender a las personas que necesitan ayuda para llenar el formulario de admisión del IFB, además de una forma más simplificada para las preguntas directas y objetivas.

El siguiente paso fue acceder al sistema de inscripción del IFSC, cuyas respuestas fueron similares a las registradas para el caso del sistema del IFB. En cuanto a la comprensión y el llenado del registro en el sistema,

todos los participantes afirmaron que no tuvieron dificultades. Acerca de la claridad de las informaciones del anuncio, las opiniones se dividieron entre aquellos que creen que orientaciones de este tipo de documento son siempre muy complicadas, en oposición a los que afirman que logran comprender con claridad. La elección del curso fue alcanzada por los cuatro participantes. Se destaca la observación de uno de ellos que afirmó haber sido fácil la elección debido a pocas opciones de cursos disponibles. Todos afirmaron que la validación y la conclusión de la inscripción se alcanzaron sin dificultades. Sin embargo, las dificultades apuntadas para el cumplimiento del proceso, en general, incluyeron la lectura del anuncio considerado agotador, el registro con gran cantidad de campos a ser llenados y se presentó dificultad para responder al cuestionario socioeconómico.

Como sugerencias de mejoras del proceso de admisión, los participantes señalaron: la reducción de la cantidad de preguntas del referido cuestionario con la justificación de que “se pierde mucho tiempo” en el llenado (percepción de demora), más claridad en el lenguaje utilizado en el anuncio de selección para auxiliar a aquellos que tienen dificultad en la comprensión de términos técnicos, por ejemplo, “exámenes de certificación de competencia”.

Se concluye que la percepción de los usuarios en esta prueba apunta a las mismas dificultades en los dos sistemas de proceso de admisión: IFB y IFSC. El proceso de inscripción en selecciones por medio de la web es considerado un punto facilitador y bastante cómodo, permitiendo que los interesados puedan registrar el interés sin necesidad de estar presente en la institución. Sin embargo, el texto de las notificaciones de los institutos involucrados en esta investigación se consideró durante mucho tiempo y se hicieron con el fin de llenar los formularios en la web en portugués esencialmente escrito.

Para los oyentes, una medida para mejorar esa percepción del usuario podría ser la implementación del material del anuncio de selección con el uso de un lenguaje por medio de recursos visuales, como imágenes

y videos con leyenda, siendo una alternativa para facilitar la comprensión de los ítems del anuncio. También debería ser reducida la cantidad de preguntas para responder.

La realización de P3 para el grupo de sordos se llevó a cabo el 19 de mayo de 2017, en una sala de la rectoría del IFB, donde se encontraban tres profesores sordos de aquel instituto. La propuesta fue proseguir de manera similar a lo que se había ejecutado e incluir personas sordas para acceder sólo al sistema de proceso selectivo del IFB para realizar la inscripción on-line. Como la inscripción no estaba disponible para cursos técnicos y tecnológicos, la tarea fue alterada para que la inscripción fuera hecha en un determinado curso de Formación Inicial y Continuada (FIC), que es un curso más rápido.

Los participantes no tenían registro en el sistema y todos tuvieron que llenar los datos del formulario, generar contraseña, confirmar por el e-mail y continuar con la inscripción. Para esa etapa, todos tuvieron éxito y afirmaron que no tuvieron dificultades.

Como ya se ha mencionado, uno de los pasos para completar el registro es que el candidato tiene que ver un video con subtítulos en portugués y anotar los tres códigos que aparecen en un sitio web de vídeo al azar. Este requisito se adopta para la inscripción en todos los cursos del IFB vía página del proceso selectivo. Las instrucciones para el cumplimiento de esta etapa estaban ubicadas por encima del vídeo, pero ninguno de los participantes comprendió la función de los códigos que aparecían aleatoriamente y en diferentes colores (por ejemplo, aldd01c).

Uno de los participantes dijo que la necesidad de leer la etiqueta y ver el video, que también contenía información escrita en portugués, y anotar los códigos, hace que sea difícil el proceso de registro. El vídeo se muestra muy rápido y fue necesario volver algunas veces para revisarlo. Otro participante no comprendió el motivo de cada código en colores diferentes y encontró confuso el cambio de color.

La segunda etapa de P3 para los sordos, fue acceder al sitio web del IFSC, donde se eligió el Campus Palhoça Bilingüe (<http://www.ifsc.edu.br/campus-palhoca>) y, a partir de éste, encontrar el enlace para inscripción en el proceso selectivo de cursos. De los tres participantes, sólo uno encontró el enlace de inscripción que se ubicaba en el espacio lateral derecho de la página principal. Los otros participantes no lo encontraron y afirmaron que hay demasiada información en la página principal del IFSC (Fig. 5). Esta etapa de la prueba fue simplificada debido al tiempo disponible de los profesores para la realización y, por lo tanto, no se solicitó la inscripción en un curso.

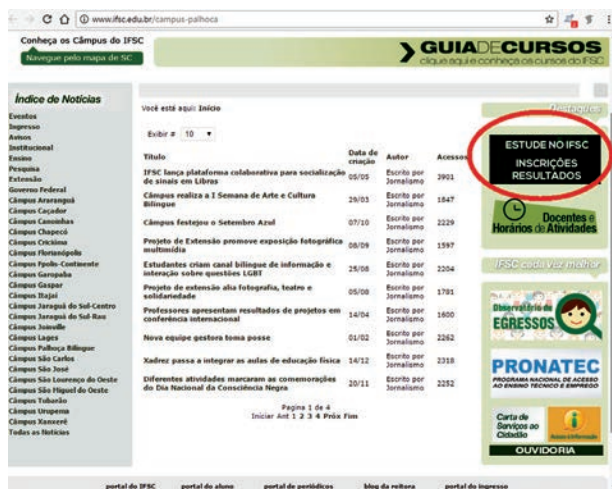


Fig. 5. Pantalla principal del sitio web del IFSC - Campus Palhoça.

Fuente: <http://www.ifsc.edu.br/campus-palhoca>. Acceso en: 19 de mayo de 2017.

4.4 Pasos de la investigación

Con base en el análisis de los resultados obtenidos durante las pruebas y la evaluación de los instrumentos utilizados, se presentaron en dos etapas a ser cumplidas para alcanzar los objetivos específicos 1 y 2. La primera etapa será realizada por medio del levantamiento sociodemográfico y la recolección de datos por medio de un cuestionario con preguntas en portugués, así como la grabación en vídeo en Libras. Para esta etapa se abordarán cuestiones sobre edad, lugar de nacimiento y residencia, nivel de escolaridad, área de formación, experiencia en la

docencia, nivel de conocimiento y el uso de Libras, frecuencia del uso de herramientas computacionales para comunicación (*e-mail*, redes sociales, chat), beneficios con la evolución de las tecnologías, autonomía y accesibilidad.

La segunda etapa prevé la propuesta de realización de tareas por los usuarios sordos, para acceso a sitios web del gobierno brasileiro. Las tareas abordarán el acceso para consulta o actualización de datos en los sitios web de la Receita Federal de Brasil y en la Plataforma Lattes del CNPq. Para permitir el registro de las respuestas de los usuarios durante esta etapa, se utilizará un software gratuito para captura de pantalla. Los resultados serán analizados con la ayuda de un modelo de satisfacción existente, además de un software para análisis de datos cualitativos.

Por último, se pretende encaminar los resultados para las áreas competentes en los órganos gubernamentales relacionados a los sitios web investigados, a fin de que éstos puedan tener conocimiento sobre el comportamiento informativo de los usuarios de la investigación y considerar este escenario para promover mejoras junto a sus equipos de desarrollo de software.

Como forma de una posible comparación de la accesibilidad de los sitios web mencionados, se realizará la evaluación con el uso de herramientas automáticas y gratuitas, disponibles en la web. Entre estas herramientas está el ASES, evaluador y simulador de accesibilidad de sitios web, que permite evaluar, simular y corregir la accesibilidad de páginas, sitios web y portales, siendo desarrollado por el Gobierno Brasileiro por medio del Ministerio de Planificación, Desarrollo y Gestión. Otro sitio web evaluador de accesibilidad es DaSilva (<http://www.dasilva.org.br/>), considerado el primer evaluador de la accesibilidad en lengua portuguesa, lo que permite la elección entre los modelos internacionales y el modelo de accesibilidad del gobierno electrónico (eMAG). Ambos están disponibles para uso a través de navegadores web, de forma online.

Actualmente hay algunos modelos de accesibilidad desarrollados y adoptados, entre los cuales el WCAG - *Web Content Accessibility Guidelines*, que contiene las directrices de accesibilidad para contenido web, y orientan lo que debe ser seguido por los desarrolladores de sitios web (W3C, 2008). El eMAG (Brasil, 2014) es el modelo de accesibilidad del gobierno electrónico brasileño, el cual está basado en las directrices de la WCAG y se dirige a la realidad de los sitios web de Brasil. Estos modelos explican cómo hacer que el contenido web sea accesible a todas las personas y serán indicadores para este estudio.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta el momento son frutos de las pruebas realizadas, según lo descrito. El escenario presentado muestra que tanto los oyentes, como los sordos, demostraron dificultades similares en la realización de las actividades propuestas, lo que indica que, a pesar de los avances en la accesibilidad a la información, todavía es necesario mejorarla.

La etapa actual de la investigación se centra en la revisión bibliográfica de publicaciones en libros y artículos científicos, principalmente, considerando los términos: “accesibilidad”, “sordos”, “usuarios”, “información” y “gobierno”.

Se enfatiza que la presente investigación fue recientemente aprobada por el Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Ciencias Humanas y Sociales de la Universidad de Brasilia. Esta aprobación configura la importancia de la investigación para poder continuar con su desarrollo y dar visibilidad a la comunidad sorda.

REFERENCIAS

Brasil (2002). Ley Nº 10.436 Dispone sobre la Lengua Brasileira de Señales - Libras y otras medidas. Recuperado en: de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10436.htm

Brasil (2012). Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência, Luiza Maria Borges Oliveira / Secretaria de Direitos Humanos

da Presidência da República (SDH/PR) / Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD) / Coordenação-Geral do Sistema de Informações sobre a Pessoa com Deficiência; Brasília, Brasil.

Brasil (2014). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. Departamento de Governo Eletrônico. eMAG: Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico. Versão 3.1. abr. 2014. Tomado de: <http://emag.governoeletronico.gov.br/>

Brasil (2015). Ley Nº 13.146 - Institui la Ley Brasileira de Inclusión de la Persona con Discapacidad (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Recuperado en: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm

Castro, F. & Calixto, H. (2016). Português para surdos e as tecnologias digitais. *Journal of Research in Special Educational Needs*, 16, 870–875.

Corradi, J. (2007). Ambientes informacionais digitais e usuários surdos: questões de acessibilidade. Tesis de Doctorado en Ciencia de la Información, Faculdade de Filosofia y Ciências de la Universidad Estadual Paulista, Marília, Brasília.

Creswell, J. (2010). *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*. Porto Alegre: Artmed.

Cunha, M. (1982). Metodologias para estudo dos usuários de informação científica e tecnológica., *Revista Biblioteconomia*, 10, 5-19.

Cunha, M., Amaral, S. & Dantas, E. (2015). *Manual de Estudo de Usuários da Informação*. São Paulo: Atlas.

Gesser, A. (2009). *Libras? Que língua é essa?: crenças e preconceitos em torno da língua de sinais e da realidade surda*. São Paulo: Parábola Editorial..

Kafure, I., Rocha, S., Rodrigues, V., Souza, A., Bastos, K., Raposo, P., Malheiros, T., Boeres, S. & Feitosa, A. (2013). A terminologia no estudo do usuário da informação. *Biblios*, 51, 1-19.

Maroun, C. (2006). A multimodalidade no livro didático de português. Tesis de Maestría en Letras, Instituto de Letras de la Universidad de Brasília, Brasília, Brasil.

Nascimento, J. & Pantoja, W. (2016). Entre outros – diálogos surdos e (des)usos de aparelhos celulares na escola. Presentado en: I Jornada Ibero-Americana de Pesquisas em Políticas Educacionais e Experiências Interdisciplinares na Educação. Brasília (Brasil). Recuperado en: http://novapaideia.org/tmp/AnaisI-Jorneduc_atualizado.pdf

Pivetta, E., Saito, D. & Ulbricht, V. (2014). Surdos e Acessibilidade: Análise de um Ambiente Virtual de Ensino e Aprendizagem. *Revista Brasileira de Educação Especial*, 20, 147-162.

Ramalho, F., Hamad, H. & Guimarães, I. (2016). Comportamento Informacional dos discentes deficientes visuais da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. *Revista Informação & Informação*, 21, 230-256.

Ramirez, A. & Masutti, M. (Orgs.) (2009). A educação de surdos numa perspectiva bilíngue: uma experiência de elaboração de softwares e suas implicações pedagógicas. En: Ramirez, A. & Napoli, M.. *O sistema de educação de surdos (SES)*, Florianópolis: Editora da UFSC.

Santos, S. (2016). Acessibilidade e usabilidade na busca e recuperação da informação por usuários surdos em um site. Apresentado en: VII Congresso Brasileiro de Educação Especial (CBEE). São Carlos (Brasil).

Vasconcelos Gurgel, I. (2015). Letramento na escrita da luz: a vez e a voz do olhar surdo. Tesis de Maestria en Letras, Instituto de Letras, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

World Wide Web Consortium (W3C) (2008). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. Recuperado en: <https://www.w3.org/TR/WCAG20/>.

DEFINICIÓN DE UN PROCESO METODOLÓGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE JUEGOS SERIOS PARA EL APOYO DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA CINEMÁTICA

DEFINITION OF A METHODOLOGICAL PROCESS FOR THE CONSTRUCTION OF SERIOUS GAMES AS SUPPORT TO THE TEACHING OF THE KINEMATIC PHYSICS

Carol Julieth Aguilar¹, Gabriel Elías Chanchí², María Isabel Vidal³

Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. Programa de Ingeniería Informática. Popayán. Colombia.

Recibido: 14/11/2017 • Aprobado: 30/11/2017

RESUMEN

Los juegos serios pueden ser considerados una herramienta proporcionada por las tecnologías de la información y la comunicación, que están siendo usados en diferentes áreas del conocimiento, su objetivo va más allá de la diversión, este tipo de juegos propende por proporcionar al jugador un valor agregado, cuyo enfoque depende del tipo de juego que se desea utilizar. Los juegos serios de tipo educativo, conocidos como edutainment, pueden aportar valores significativos al proceso de enseñanza aprendizaje, razón por la cual se ha popularizado su uso. Aunque existen diferentes modelos que dan soporte metodológico para la creación de este tipo de tecnologías en procesos de enseñanza-aprendizaje, no se ha evidenciado la existencia de un proceso metodológico para la creación de juegos serios en el contexto de la física cinemática en educación media. En este artículo se propone como aporte la definición de un proceso metodológico para la construcción de juegos serios en este contexto. A partir del proceso metodológico definido, se construyó un prototipo de juego serio denominado kinematics, el cual permite validar la propuesta desarrollada.

Palabras clave: *física cinemática, juegos serios, proceso metodológico.*

ABSTRACT

Serious games are considered a tool provided by the information and communication technologies; they are being used in different areas of knowledge and their goal goes beyond fun. This type of games tends to provide the player with an added value whose focus depends on the type of game you want to use. Serious educational games known as edutainment, can provide significant values to the teaching-learning process, which is why its use has become popular. Although there are different models that give methodological support for the creation of serious games in the context of kinematic physics in secondary education. This article proposes as a contribution, the

¹ carola@unimayor.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-5886-3640>

² gchanchi@unimayor.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-0257-1988>

³ mvidal@unimayor.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-5456-3082>

definition of a methodological process for the construction of serious games, in the context of kinematic physics in secondary education. From the methodological process defined, a prototype of serious game called kinematics was built, which allows to validate the developed proposal.

Key words: *kinematic physics, methodological process, serious games.*



1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la enseñanza de la ingeniería, se encuentran las ciencias físicas, las cuales se enmarcan en las ciencias básicas y la ingeniería. En el contexto de estas, en la educación media, se ha evidenciado la dificultad para apropiarse los conceptos asociados a estas, en parte por las falencias de los estudiantes para usar las matemáticas como lenguaje de la física, así como la necesidad de contar con infraestructura para dar soporte a las prácticas físicas.

En consecuencia, junto con lo anterior, se suma la falta de cobertura así como de recursos e infraestructura para la realización de experimentación, necesarios para el acoplamiento de la teoría y la práctica en el desarrollo de conceptos fundamentales de las leyes físicas. Por estas razones, la actualización del sistema educativo en general y la calidad educativa, no solo se deben centrar en el desarrollo cognitivo de los estudiantes, sino incluir nuevas dinámicas en la generación de conocimiento, innovación, calidad y pertinencia educativa a nivel regional. En este aspecto, las posibilidades que ofrece la incorporación de las TIC para mejorar la calidad educativa, se derivan de reconocer los cambios sociales que se han producido en el dominio del conocimiento, dando la posibilidad de acceder a este, en cualquier lugar y momento, lo que conduce a adquirir diferentes puntos de vista sobre la misma información, además de permitir representar la realidad, creando simulaciones que relacionan los conceptos con la solución de problemas reales dentro de un contexto curricular.

Un caso particular de la incorporación de las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje, son los

juegos serios, siendo este un concepto que ha tenido mayor difusión en los últimos años. Los juegos serios son considerados como herramientas estratégicas que buscan mejorar los procesos de enseñanza aprendizaje en el aula de clase. De esta manera, han sido utilizados en diferentes temáticas educativas generando aprendizaje significativo en los usuarios finales (Gros Salvat, 2009).

A partir de lo anterior, los juegos serios se convierten en una oportunidad para apropiarse los conceptos asociados a las ciencias físicas en educación media. A pesar de lo anterior, no se ha evidenciado claramente la existencia de un proceso metodológico para la construcción de juegos serios, para la enseñanza-aprendizaje de la física cinemática, en educación media. De acuerdo a esto, en el artículo se propone como aporte, la definición de proceso metodológico para la construcción de juegos serios aplicados a la enseñanza-aprendizaje de la física cinemática en educación media, el cual reúne en sus diferentes fases elementos pedagógicos y tecnológicos, que puedan guiar el proceso de desarrollo de este tipo de aplicaciones.

En este sentido, la presente investigación pretende identificar las características de los juegos serios que permitan determinar los principales elementos del proceso de enseñanza de conceptos en la física cinemática, y con base en estas características proponer un proceso metodológico a utilizar, para definir un proceso de diseño y construcción de un juego serio basado en el aprendizaje de esta área. El objetivo principal de esta propuesta es definir un posible diseño de contenidos educativos, enmarcados en un proceso metodológico

que permita implementar un prototipo de videojuego serio, orientado a la enseñanza de la física cinemática, manteniendo la motivación de los usuarios (estudiantes), mediante el establecimiento de un enlace entre la diversión y el proceso de enseñanza-aprendizaje.

De igual manera, el propósito de este trabajo es proponer un mecanismo para la validación y evaluación de los contenidos a través de heurísticas aplicadas al desarrollo de juegos serios, cuyo objetivo radica en generar soluciones alternativas al mejoramiento de los contenidos propuestos. Adicionalmente como medio de verificación del proceso metodológico propuesto, en este artículo se presenta un prototipo que implementa algunos de los retos planteados en el proceso metodológico. El prototipo de juego serio desarrollado, pretende ser un apoyo en cuanto al uso de la lúdica en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física cinemática.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se presenta el marco conceptual que da soporte al trabajo realizado, en la sección 3 se presenta la metodología utilizada en el presente trabajo; en la sección 4 se muestra el esquema del proceso metodológico definido y la descripción de sus diferentes fases; en la sección 5 se presenta la instanciación del proceso metodológico propuesto por medio del desarrollo de un prototipo funcional; en la sección 6 se muestra la validación y evaluación del prototipo generado a nivel pedagógico y funcional; finalmente en la sección 7 se presentan las conclusiones y trabajos futuros derivados de este artículo.

2. MARCO CONCEPTUAL

En las ciencias físicas existen dos conceptos importantes para su desarrollo: la observación y la experimentación. Para generar un concepto físico, es necesario definir las variables que mejor describen un fenómeno natural, y, mediante la variación de condiciones que modifiquen dichas variables, plantear un posible método de relación cuantitativo con el concepto, es decir, pasar del estudio y la observación a la

exploración. De este modo, el trabajo explorativo en la enseñanza de la física, tiene un efecto importante en la didáctica y la pedagogía de las ciencias básicas, por esta razón, constituye la base de la formación académica y curricular de las ciencias exactas y las ingenierías, haciendo evidente la necesidad de planear, aprender y enseñar mediante un conjunto de herramientas que permitan a la comunidad académica, retroalimentar el trabajo en aula.

En consecuencia con lo anterior, dentro de las herramientas tecnológicas que propician la inmersión en escenarios virtuales y la experimentación dentro de estos, se encuentran los videojuegos serios, los cuales hacen uso de la diversión y la lúdica como mecanismo que conduce hacia la apropiación del conocimiento en diferentes áreas (Baloco Navarro, 2017). Los videojuegos serios, son considerados como herramientas tecnológicas que utilizan un entorno construido a partir de elementos propios del juego como una historia, la definición y utilización de mecánicas y dinámicas de juego, retos y premios establecidos que motiven al jugador y reglas que apoyen la jugabilidad, con el objetivo de entrenar, enseñar, educar o informar, buscando generar en el usuario o jugador una experiencia significativa. Dentro de los juegos serios, se encuentra una clasificación que permite enfocar el objetivo final del juego ligado a una función específica. A continuación, se describen brevemente algunas de las categorías.

Advergame: es un tipo de juego serio utilizado en la promoción de productos o servicios, cuyo objetivo es ubicar el producto en un entorno atractivo que lo involucre dentro de la historia del juego. Este tipo de juego serio es considerado como la evolución de la "Publicidad en juego"-(Singh Aggarwal, 2015).

Edutainment: este tipo de juego serio tiene como objetivo cumplir con un propósito educativo que al combinarlo con el propósito convencional de los juegos que es divertir proporciona al jugador un entorno de aprendizaje atractivo permitiendo elementos que favorecen el proceso de aprendizaje como la inmersión (Yusof, et al., 2011).

Edumarket: es un tipo de juego serio que combina aspectos relacionados con *advergaming* y *edutainment*, cuyo objetivo primordial es el de transmitir información sobre el funcionamiento de los mercados, generando atracción hacia los mismos (Ma, Oikonomou & Jain, 2011).

Juegos de simulación: el objetivo de este tipo de juego serio consiste en que el jugador adquiera o ejercite habilidades o comportamientos en el contexto de situaciones o condiciones simuladas. (Ma, Oikonomou & Jain, 2011).

En general, el uso de juegos serios se ha popularizado a partir de las oportunidades de inclusión en las diferentes áreas del conocimiento. En este sentido, el usuario final de estas tecnologías adquiere beneficios en diferentes aspectos a nivel de interacción, mejorando procesos, ya sea de aprendizaje, entrenamiento e inmersión. En este orden de ideas, un caso particular de la incorporación de las TIC, en los procesos de enseñanza-aprendizaje, son los juegos serios tipo *edutainment*, con respecto a los cuales numerosos autores reportan el desarrollo de habilidades sociales y cognitivas (De Freitas & Oliver, 2006), así como de capacidades de aplicación de estas frente a situaciones reales en el entorno.

Los *edutainment* son diseñados para proporcionar un contexto de entretenimiento y auto fortalecimiento con el cual se busca motivar, educar y entretener a estudiantes; igualmente, son una clase de juegos electrónicos, es decir, una subcategoría dentro de los juegos para computadoras y videojuegos, cuya finalidad va más allá del entretenimiento, y pueden servir para estimular el aprendizaje de los usuarios o sensibilizarlos sobre alguna problemática particular (Michael & Chen, 2006). La aplicación de esta tecnología, puede tener aplicación en la enseñanza de la física cinemática, convirtiéndose en un punto de convergencia del pensamiento pedagógico contemporáneo y las nuevas tecnologías de la comunicación (Gros Salvat, 2009).

En el campo de la física, existen varios modelos de juegos serios propuestos para el aprendizaje de

conceptos y la aplicación de las nuevas tecnologías. (Muñoz, Noguez, Mc Kevitt, Neri, Robledo-Rella, & Lunney, 2009) explora la creación de un juego de física educativa, utilizando una arquitectura de juego diseñada para involucrar al estudiante mientras juega y aprende, además de proporcionar un método de evaluación de los resultados registrados. Otro ejemplo de juego serio, basado en el aprendizaje de la mecánica newtoniana, es propuesto por (Juuti, Lavonen, & Meisalo, 2007), en el cual se examina el impacto que tiene un ambiente de aprendizaje virtual mediante la creación de mundos virtuales o ambientes interactivos para enseñar varios principios de la física, tales como la gravedad y colisiones. Finalmente, (Mohanty & Cantu, 2011), discuten varios juegos de video usados para enseñar física a estudiantes de pregrado. Todos estos ejemplos de juegos que utilizan conceptos de física fueron la base para determinar la importancia de la representación visual de un fenómeno y sus aplicaciones cognitivas en los estudiantes, por lo tanto, a partir de esta conclusión, se hace necesaria la definición de un proceso metodológico que incluya una serie de etapas para mejorar la visualización de los fenómenos físicos permitiendo una evaluación dentro del juego, considerando, posiblemente, nuevos problemas a resolver durante la retroalimentación del diseño.

El estudio de la implementación de juegos serios ha permitido el desarrollo de diferentes metodologías que podrían ser adaptadas para el diseño de videojuegos educativos en diferentes áreas. En los últimos años, diferentes prototipos de juegos han buscado reunir una base teórica para su diseño, incluyendo el desarrollo y prueba de los resultados obtenidos a partir de su implementación. En la Tabla 1 se muestra un conjunto de modelos asociados a la construcción de juegos serios (Mislevy, Almond & Lukas, 2003; De Freitas & Oliver, 2006; Sauvé, et al., 2007; De Freitas & Neumann, 2009; Van Staalduinen & De Freitas, 2011).

Se puede observar que varios de los modelos de la Tabla 1 requieren establecer una unión entre las estrategias pedagógica y el diseño del juego, sin embargo, la posterior implementación del prototipo ha conducido

a un cambio en la evaluación y el diseño del aprendizaje dentro del desarrollo de juegos serios aplicados a un contexto curricular enmarcado en un área de conocimiento determinada. En el caso específico de juegos serios propuestos para el aprendizaje de la física y la aplicación de las nuevas tecnologías, algunos de estos exploran la creación de un esquema de juego diseñado para involucrar al estudiante mientras juega y aprende, además de proporcionar métodos de evaluación de los resultados registrados.

TABLA 1

Modelos para construcción de juegos serios

Modelo	Características
Modelo centrado en la evidencia	Se basa en la implementación de tres modelos relacionados entre sí: modelo de contenido, de evidencia y de tareas.
Marco cuantitativo (4DF)	Se establecen cuatro dimensiones para la implementación de un juego serio: el contexto del aprendizaje, las particularidades del alumno, la representación del juego y las pedagogías adoptadas.
El modelo exploratorio de aprendizaje (ELM)	La interacción social se convierte en el centro de procesos de aprendizaje más interactivos y atractivos
Modelo enfocado a la estructura del juego	Se diferencian dos partes: la estructura del juego y los contenidos, en esta propuesta la estructura se puede mantener fija y los contenidos se adaptan a esta.
Aprendizaje basado en el juego	Reúne una serie de marcos y modelos de aprendizaje diferentes, incluyendo el modelo 4DF y un modelo de motivación del juego

De acuerdo a lo anterior, se puede concluir que el juego serio, es un ejercicio recreativo basado en escenarios reales, donde se asume un rol en el mundo real o virtual, para obtener un aprendizaje, dirigido a una gran variedad de público (estudiantes de educación primaria y secundaria, profesionales, consumidores). Cabe mencionar, que los juegos serios pueden ser de cualquier género, usar diversa tecnología de juegos y estar desarrollados para multiplataforma (diferentes sistemas operativos). A pesar de lo anterior, existe un

desafío al diseñar y construir juegos serios adecuados para las necesidades de los sistemas curriculares; un debate significativo entre diseñadores de juegos y diseñadores pedagógicos, se centra en el establecimiento del papel exacto de la pedagogía en juegos serios. Mientras diversos autores han argumentado en su trabajo que la pedagogía debe ser un aspecto central del diseño del juego serio, por ejemplo, (De Freitas & Neumann, 2009), otros, incluyendo Zyda argumentan que la pedagogía debe ser subordinada a la historia y que el componente de entretenimiento viene primero (Zyda, 2005). Conseguir un equilibrio entre las exigencias de un buen diseño de juego con los requisitos para medir y mostrar resultados de aprendizaje ha impulsado gran parte del trabajo conceptual en el campo.

3. METODOLOGÍA

A partir de la revisión de las diferentes propuestas tecnológicas y pedagógicas existentes, relacionadas con los videojuegos educativos, en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física cinemática, las cuales se presentan en la Tabla 1 (Mislevy, Almond & Lukas, 2003; De Freitas & Oliver, 2006; De Freitas & Neumann, 2009; Sauvé, et al., 2007; De Freitas & Neumann, 2009; Van Staaldunin & De Freitas, 2011), se seleccionaron las características principales que permitieron la definición de un proceso metodológico para para la construcción de juegos serios, en el contexto de la física cinemática y la educación media. Posteriormente, se procedió con la definición de una dimensión pedagógica trasversal al proceso metodológico definido, la cual partió de la identificación de elementos pedagógicos fundamentales para la apropiación del conocimiento dentro de un video juego. Dentro de estos elementos se destacan: los diferentes objetivos de conocimiento, roles, tareas, trabajo en grupo y escenarios, los cuales deben ir articulados en las distintas fases del proceso metodológico y en la dimensión pedagógica.

Definido el proceso metodológico a utilizar, se desarrolló un prototipo de juego serio para el contexto

educativo, con objetivos centrados en el desarrollo conceptual de la física cinemática, como herramienta de gestión de la información, que permitirá determinar los aspectos más importantes de los diferentes procesos de enseñanza-aprendizaje.

El desarrollo de este aplicativo se implementó usando software libre para una aplicación web, la cual reflejará el proceso metodológico definido anteriormente. La implementación de este juego es diseñada para estudiantes de 13 a 15 años, en el entorno de desarrollo Blender 3D. Se definieron como contenidos, los siguientes subtemas del área cinemática: movimiento rectilíneo uniforme, movimiento rectilíneo con aceleración constante, caída libre y movimiento parabólico, lo anterior considerando que a nivel de la región estas son temáticas elementales de la enseñanza de la física, las cuales constituyen una parte fundamental en la didáctica y la pedagogía de las ciencias básicas. Una vez desarrollada la instancia del proceso metodológico definido, se procedió con la validación del mismo, para lo cual se contó con el apoyo de profesionales de las áreas de la física, la informática y la pedagogía, lo cual permitió verificar que los objetivos de aprendizaje definidos inicialmente y evidenciados en los retos del prototipo se correspondieran con las competencias del curso. De igual manera en cuanto a la evaluación funcional del prototipo, se contó con un equipo de expertos del área de la usabilidad, quienes evaluaron el prototipo mediante la técnica de focus group, la cual consiste en la realización de entrevistas de grupo, contando con un moderador encargado de guiar una entrevista colectiva durante la cual un grupo de personas (entre 6 y 8 personas preferiblemente con un número de integrantes impar) inicia una discusión en torno a las características y las dimensiones del tema propuesto. Cabe resaltar que en el presente trabajo la técnica de focus group estuvo dirigida al cumplimiento de los principios heurísticos de Nielsen (Nielsen & Mack, 1994) y de los principios heurísticos para videojuegos propuestos en (Pinelle, Wong, & Stach, 2008), por parte de los prototipos de los retos.

4. PROCESO METODOLÓGICO

El propósito principal del proceso metodológico definido en esta sección, radica en la integración de cinco elementos en un esquema basado en algunos modelos teóricos implementados para el desarrollo de juegos serios y su aplicación en temas específicos. El proceso metodológico propuesto se basa en diferentes aspectos ampliamente discutidos en la Tabla 1, que proponen un esquema básico de construcción de un juego serio, el primer modelo, denominado marco cuantitativo (De Freitas & Oliver, 2006), establece cuatro dimensiones para la implementación, dentro las cuales se encuentran el contexto del aprendizaje, las particularidades del alumno, la representación del juego y las pedagogías adoptadas; otro aspecto importante a tener en cuenta se propone dentro del modelo exploratorio de aprendizaje (De Freitas y Neumann, 2009), donde la interacción social se convierte en el centro de procesos de aprendizaje más interactivos y atractivos; por otro lado, con respecto al desarrollo de la motivación del juego, se pueden establecer algunas actividades lúdicas que faciliten el proceso de aprendizaje (Van Staalduinen & De Freitas, 2011), finalmente, se consideró el modelo de diseño Centrado en la Evidencia (ECD), definido como un marco de diseño conceptual usado para recolectar datos de evaluación en muchos tipos de formatos, incluidos los juegos digitales (Groff, et al., 2015).

Por lo tanto, el proceso metodológico diseñado recoge cinco aspectos comunes de los modelos anteriormente mencionados: contexto, definición y diseño conceptual, diseño de interacción e implementación, validación y evaluación, los cuales se representan en la Fig.1. Para el desarrollo e implementación, es necesario contar con cinco equipos de trabajo, encargados de los aspectos pedagógicos, creativos, de diseño gráfico, desarrollo y usabilidad; en el proceso metodológico planteado, cada equipo participará en la implementación del juego serio y se encargará de la retroalimentación de las etapas propuestas.

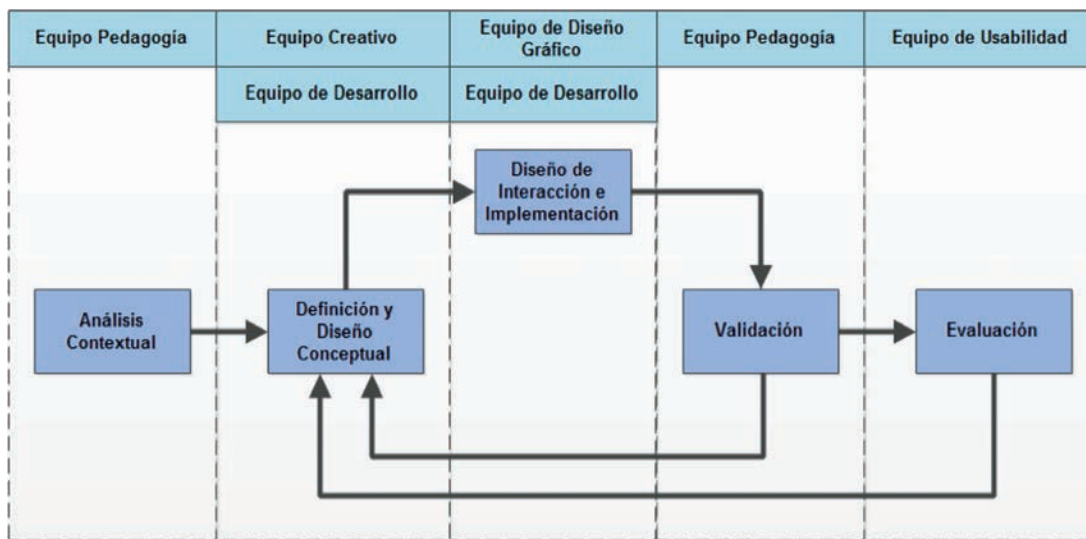


Fig. 1. Proceso metodológico del juego serio adaptado de los modelos propuestos por De Freitas & Oliver (2006); De Freitas & Neumann (2009); Van Staalduinen & de Freitas (2011), y el modelo de diseño Centrado en la Evidencia (Groff, et al., 2015)

En la primera etapa se definió el contexto particular del juego, considerando los escenarios históricos, políticos, económicos, disponibilidad de recursos y herramientas específicas. Dentro de esta primera etapa se especifica el conocimiento a adquirir y la comprensión concreta del tema, así como la disponibilidad de soporte técnico. La segunda etapa, considera los atributos del alumno particular o del grupo de estudiantes, incluyendo la edad y el nivel del grupo; en esta fase se especificaron los componentes de aprendizaje, incluyendo antecedentes, estilos y preferencias, lo cual permitió definir los elementos en el diseño de los retos y actividades lúdicas, vinculados a las tareas que involucran a los estudiantes con respecto a esos conocimientos y habilidades. La tercera etapa se centró en el diseño y la implementación del juego; este aspecto se refiere al modo de presentación, la interactividad y los niveles de inmersión; esta dimensión es particularmente significativa para el proceso metodológico, debido a la diferencia entre estar inmerso en el juego y el proceso de reflexión crítica que tiene lugar fuera de él; posteriormente en la cuarta etapa, denominada validación, se contrastó a partir de los resultados de pruebas obtenidos, la aplicabilidad del juego en el desarrollo conceptual del estudiante, cualquier falla en esta etapa implicó una reevaluación del diseño

en general. En la quinta etapa, denominada evaluación, se analizaron los elementos de registros, datos y acciones generados durante la actividad, los cuales permitieron proporcionar interpretaciones y evidencia del avance del conocimiento adquirido por el estudiante (De Freitas & Liarokapis, 2011).



Fig. 2. Esquema secuencial del proceso metodológico propuesto para el desarrollo de un juego serio enfocado a la física cinemática

El proceso metodológico definido en la sección anterior, tiene asociada una dimensión pedagógica, la cual es transversal al proceso metodológico propuesto. Esta dimensión es presentada de manera secuencial en la Figura 2 y se centra en el establecimiento de los aspectos conceptuales importantes en el proceso de enseñanza aprendizaje de la física cinemática (ver Figura 2). De este modo las diferentes etapas de la dimensión pedagógica, permitieron identificar un conjunto de elementos pedagógicos para el establecimiento de un objetivo de aprendizaje dentro de un juego serio. La primera etapa, considera los atributos del alumno particular y del grupo de estudiantes, incluyendo la edad y el nivel de conocimiento del grupo acerca del tema dado; la segunda etapa, establece un área de

conocimiento, especificando el conocimiento a adquirir, partiendo de una metodología que facilite la comprensión concreta del tema de esta investigación; la tercera fase, se centra en el diseño de las actividades didácticas del juego a partir de los elementos considerados en la etapa anterior, permitiendo diseñar los retos y actividades lúdicas, vinculados a las tareas que involucran a los estudiantes respecto a esos conocimientos y habilidades; la cuarta etapa se centró en el diseño y la implementación del juego, en este contexto este aspecto se refiere al modo de presentación, la interactividad, los niveles de inmersión y fidelidad; esta dimensión es particularmente significativa para el proceso metodológico propuesto.

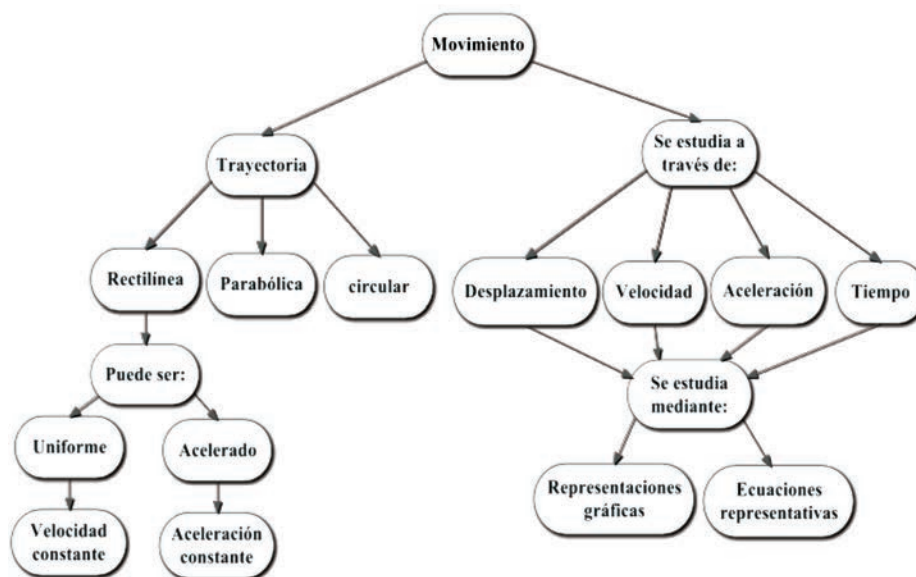


Fig. 3. Esquema pedagógico del proceso metodológico propuesto para el desarrollo de un juego serio enfocado a la física cinemática, adaptado de (García Arques, Pro Bueno & Saura Llamas, 1995)

En la Figura 3, se ilustra el esquema pedagógico utilizado para el estudio de la física cinemática. En este marco conceptual, se parte del aprendizaje de los conceptos de reposo y de movimiento, los cuales podrían depender del sistema de referencia, sin embargo, se debe tener en cuenta que el movimiento relativo puede resultar complejo para estudiantes de educación media, por lo tanto, este factor no se tendrá en cuenta en este trabajo. Por otro lado, asociados al estado del

objeto, los conceptos de desplazamiento, velocidad y aceleración constituyen la estructura fundamental en el desarrollo de la física, en este esquema además se evidencian inconvenientes en la asociación de conceptos físicos y su correspondiente lenguaje matemático, un ejemplo de estos se presenta al tratar de abordar el concepto de velocidad instantánea, debido a las implicaciones de conocimientos previos del cálculo diferencial por parte de estudiantes.

Además de estos conceptos generales y su simplificación en el lenguaje matemático, a través de ecuaciones sencillas, es importante abordar tanto su representación escalar como el carácter vectorial de estas representaciones.

Análogamente, es necesario, definir el tipo de trayectoria del objeto y las características de los diferentes movimientos relacionados con la particularidad del problema de estudio. En el esquema, no necesariamente debe seguirse un nivel jerárquico, el hecho de que algunos de ellos aparezcan en un mismo nivel no presupone ninguna secuencia organizativa (Novak & Gowin, 1984). Otros aspectos importantes a tenerse en cuenta en el desarrollo del esquema de pensamiento lógico y la interiorización de los conceptos básicos de la física cinemática, son las percepciones intuitivas y cualitativas desarrolladas frente al formalismo matemático. Por otro lado, se debe fomentar la capacidad del alumno de explicar la coherencia de sus resultados, de interpretar signos y convencionalismos cuantitativos, de ser crítico con sus hallazgos, lo cual hará parte de su proceso formativo permitiendo adquirir conocimientos específicos.

En esta propuesta, se establece un objetivo que servirá de ejemplo para mostrar la implementación del proceso metodológico planteado (ver Figura 4). En este esquema, cada uno de los conceptos relacionados con el área de conocimiento de la física cinemática se organiza de acuerdo a objetivos, actividades y tareas.

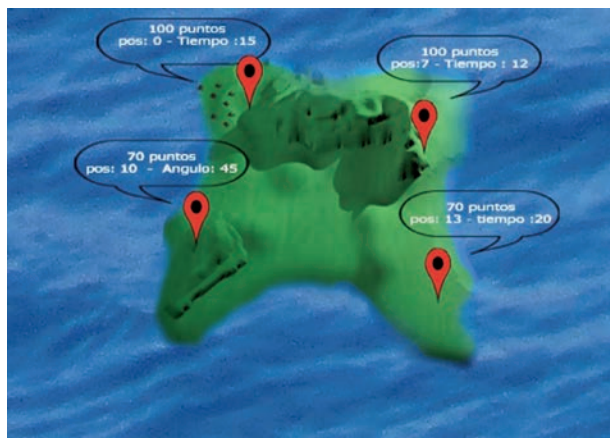


Fig. 4. Fragmento del planteamiento de uno de los objetivos enmarcados en el proceso metodológico

5. PROTOTIPO DE JUEGO SERIO KINEMATICS

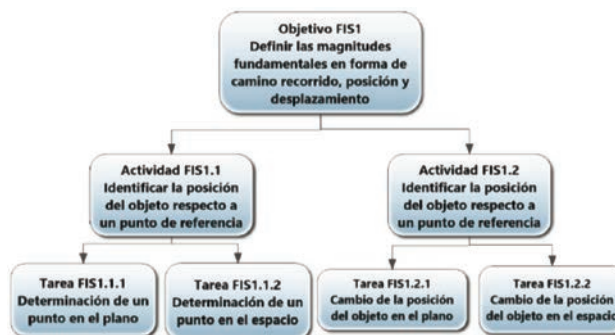


Fig. 5. Escenario de la Aventura, Isla Kinematic.

En esta sección se presenta la instanciación del proceso metodológico, definido en un prototipo software para el apoyo a los conceptos de cinemática. Este prototipo sirvió de base para realizar una primera aproximación al proceso metodológico presentado en la sección anterior. Los diferentes retos del juego serio fueron implementados mediante la herramienta libre y multiplataforma Blender, la cual permitió el modelado, animación y creación de gráficos tridimensionales. En el prototipo de diseño de cada nivel del juego se sugirió a los desarrolladores el uso de elementos gráficos siguiendo el modelo mental del usuario, es decir elementos que le permitieran al jugador la relación entre el sistema y el mundo real.

A nivel de la historia del prototipo construido como medio de verificación del diseño del proceso metodológico, es importante mencionar que el prototipo se denomina Kinematics 1.0, juego serio relacionado con el aprendizaje de la cinemática, desarrollado para ser ejecutado en PC. La implementación de este juego estará diseñada para estudiantes de educación media, en el entorno de desarrollo Blender 3D. En este artículo se presenta la implementación del primer nivel del juego correspondiente al entendimiento de los conceptos de posición y desplazamiento, lo anterior considerando que el movimiento de una partícula se conoce por completo si la posición de la partícula en el espacio se conoce en todo momento. En el prototipo presentado en este artículo, el jugador se encuentra en la base de operaciones de una organización

formada por villanos denominada Nitro, la cual se encuentra en una isla llamada Kinematic, Figura 5, los guardianes de la base son una serie de especies experimentales creadas por el doctor Guerra, investigador que busca sembrar el terror, creando un ejército para esclavizar la raza humana; el personaje principal deberá completar una serie de misiones, convirtiendo las criaturas a su estado natural, además ideando una forma de inactivar el laboratorio de Nitro sin comprometer la biodiversidad de la isla y capturar al doctor Guerra; los retos diseñados contendrán escenarios de aventura, estrategia y táctica.

En cuanto a los retos relacionados con el objetivo educativo, las escenas correspondientes al reto, se identificarán como RETO-FIS01. En la primera escena se describe la historia del doctor Guerra y las indicaciones para determinar la ubicación de la Isla Kinematic, se asigna la tarea a un avatar de llegar a la Isla, cumplir una serie de tareas y encontrar la manera de regresar a su estado natural la biodiversidad del lugar, destruir el laboratorio Nitro y capturar al doctor Guerra. En la segunda escena, se le muestra al usuario las opciones de crear su perfil, personalizar su avatar y controlar las opciones generales del juego. La tercera escena le indica al usuario un menú con las opciones de jugar, configurar, continuar, información de estado y salir del juego. La cuarta escena, presenta el reto: “Encontrar la isla”, cuyo desarrollo consistirá en ubicar en un plano la isla Kinematic, sorteando varios obstáculos que deberán ser rodeados o esquivados a través de la utilización de conceptos de posición y desplazamiento.

6. VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

Como medio de retroalimentación a las fases del proceso metodológico definido para la construcción de juegos serios, en esta sección se presenta la

evaluación del prototipo desde las perspectivas pedagógica y tecnológica, de tal forma que el costo de la redefinición de los elementos deficientes sea menor que si las pruebas se realizarán únicamente al final del proceso.

De acuerdo a lo anterior, en la etapa de validación se contó con el apoyo de profesionales del área de la física y la informática, quienes en conjunto con el equipo desarrollador contribuyeron en la definición de métricas a tener en cuenta en el juego, las cuales permitieran verificar el cumplimiento de las competencias asociadas a cada uno de los retos del juego serio. De este modo, dentro de las métricas consideradas para el juego serio presentado en este artículo se encuentran:

Tiempo por prueba: Métrica definida como el tiempo empleado por el usuario en superar adecuadamente cada una de las pruebas o retos provistos por el juego serio. En caso que el jugador emplee varios intentos en superar una prueba, este valor corresponde al promedio de los tiempos.

Número de intentos por prueba: Métrica definida como el número de veces que el jugador requiere para superar adecuadamente cada una de las pruebas o retos del juego serio.

Número de puntos acumulados: Métrica definida como la cantidad de puntos que acumula el usuario al superar un reto determinado. Este valor es inversamente proporcional al número de intentos empleados por cada una de las pruebas.

Número de veces que usa la ayuda: esta métrica es definida como el número de veces que el usuario requiere el uso de la ayuda teórica proporcionada por el juego, mientras el jugador interactúa con cada uno de los retos.



Figura 6. Reto: encontrar la isla Kinematic. Objetivo de aprendizaje: posición y desplazamiento, tema: cinemática, área de conocimiento: física

En cuanto a la etapa de evaluación funcional del juego serio, se hizo uso de la técnica de focus group, la cual consiste en la realización de entrevistas de grupo, contando con un moderador encargado de guiar una entrevista colectiva durante la cual el conjunto de personas inicia una discusión en torno a las características y las dimensiones del tema propuesto, se evaluó el reto propuesto, Figura 6. Cabe resaltar que en el presente trabajo la técnica de focus group estuvo dirigida en torno al cumplimiento de los principios heurísticos de Nielsen y en torno al cumplimiento de un conjunto de heurísticas para videojuegos, propuestas en (Pinelle, Wong & Stach, 2008).

Los principios heurísticos de Nielsen son 10 (1. Visibilidad del estado del sistema; 2. Relación entre el sistema y el mundo real, 3. Control y libertad de usuario; 4. Consistencia y estándares; 5. Prevención de errores; 6. Reconocimiento antes que recuerdo; 7. Flexibilidad y eficiencia de uso; 8. Diseño estético y minimalista; 9. Ayudar a los usuarios a reconocer; 10. Ayuda y documentación), y tienen por objetivo garantizar el cumplimiento de las características de usabilidad dentro de aplicaciones interactivas de propósito general. Dado que estos principios han sido las bases para la generación de diferentes tipos de heurísticas, en el presente trabajo se decidieron usar como un primer filtro sobre el prototipo de juego serio implementado.

En cuanto a las heurísticas de los videojuegos, estas se usaron como un segundo filtro, con el fin de verificar el cumplimiento de algunas características comunes a este tipo de aplicaciones. Estas heurísticas son: 1. Proporcionar respuestas coherentes a las acciones del usuario; 2. Permitir la personalización de las configuraciones de audio y video; 3. Posibilitar un comportamiento predecible a las unidades controladas; 4. Proporcionar una vista panorámica apropiada para las acciones del usuario; 5. Permitir a los usuarios saltar contenido no reproducible y frecuente; 6. Proporcionar asignaciones de entrada intuitivas y personalizables; 7. Proporcionar controles con un nivel apropiado de sensibilidad y capacidad de respuesta; 8. Proporcionar información a los jugadores sobre el estado del juego; 9. Proporcionar instrucciones, capacitación y ayuda; 10. Proveer representaciones gráficas fáciles de interpretar (Pinelle, Wong & Stach 2008).

En cuanto al primer filtro desarrollado, correspondiente a la evaluación del prototipo mediante los principios heurísticos de Nielsen, teniendo en cuenta la técnica de focus group, se obtuvo que los principios heurísticos de visibilidad del sistema, consistencia y estándares y ayuda y documentación fueron los menos aplicados dentro del prototipo. En cuanto al principio de visibilidad del sistema, los evaluadores manifestaron la necesidad de incluir títulos en cada una de las

vistas para orientar al usuario sobre el reto a superar. Así mismo se sugirió la inclusión del puntaje y las vidas en la parte superior derecha de la pantalla. En cuanto al principio de consistencia y estándares se recomendó el uso de los mismos tipos de fuentes, colores en los títulos y vistas de las diferentes pruebas y/o retos del juego. A nivel del principio de ayuda y documentación, se recomendó incluir en pantalla el modo de interacción del usuario con el prototipo software, así como el manejo de ayuda contextual teórica dependiendo del reto en el que el usuario se encuentre.

En cuanto al segundo filtro desarrollado, correspondiente a la evaluación del prototipo mediante heurísticas de usabilidad propias de los videojuegos, teniendo en cuenta la técnica de focus group, se obtuvo que las heurísticas de: permitir la personalización de las configuraciones de audio y video, proporcionar asignaciones de entrada intuitivas y personalizables, proporcionar información a los jugadores sobre el estado del juego, proporcionar instrucciones, capacitación y ayuda, fueron las que más se incumplieron dentro del prototipo. En cuanto a la heurística: permitir la personalización de las configuraciones de audio y video, los evaluadores manifestaron la necesidad de incluir esta funcionalidad dentro del juego, con el objetivo de hacerlo más personalizable a las

necesidades multimedia. En lo que respecta a la heurística: proporcionar asignaciones de entrada intuitivas y personalizables, los evaluadores manifestaron la necesidad de utilizar en la medida de lo posible teclas más genéricas y convencionales para los movimientos del usuario en el escenario. Con relación a la heurística: proporcionar información a los jugadores sobre el estado del juego, los evaluadores sugirieron incluir títulos en cada una de las vistas para orientar al usuario sobre el reto a superar. Del mismo modo, se sugirió la inclusión del puntaje y las vidas en la parte superior derecha de la pantalla. Finalmente, en lo que respecta a la heurística de proporcionar instrucciones, capacitación y ayuda, los evaluadores recomendaron incluir en pantalla el modo de interacción del usuario con el reto en cuestión, así como el manejo de ayuda contextual dependiendo del reto en el que el usuario se encuentre.

De acuerdo a lo anterior, existe cierta relación entre las heurísticas de Nielsen y las heurísticas para videojuegos consideradas (Pinelle, Wong & Stach, 2008), siendo la configuración de teclas genéricas y la personalización de configuraciones de audio y video el factor diferenciador. En la Figura 7 se presentan los cambios realizados a partir de los dos filtros de evaluación realizados.



Fig. 7. Modificaciones realizadas utilizando los resultados obtenidos en la etapa de evaluación

7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el presente artículo se definió un proceso metodológico para la construcción de juegos serios, en el contexto de la física cinemática. El proceso metodológico propuesto involucra aspectos pedagógicos, aspectos de desarrollo y aspectos de evaluación desde la perspectiva de la usabilidad, los cuales se abordan en cinco fases. Este proceso metodológico pretende servir de referencia en cuanto a la construcción de juegos serios aplicados en diferentes contextos de aplicación.

El proceso metodológico propuesto para el diseño e implementación de juegos serios toma en consideración aspectos relevantes de la pedagogía y de la usabilidad, las cuales normalmente no son considerados en el proceso de construcción de aplicaciones. Lo anterior permite que la propuesta de juego serio esté centrada en los objetivos del aprendizaje y en la interacción adecuada por parte del usuario.

El prototipo desarrollado como instancia del proceso metodológico propuesto, pretende servir de apoyo para los docentes de física de educación media, en el sentido que permita propiciar la lúdica en el aprendizaje de conceptos que no resultan tan fáciles de apropiarse en los estudiantes.

La fase de evaluación de usabilidad, realizada a los diferentes retos del juego serio, mediante las heurísticas de usabilidad de Nielsen y las heurísticas propias de los videojuegos, permitió contribuir con el cumplimiento de los objetivos de eficacia, eficiencia y satisfacción por parte del usuario de acuerdo al estándar ISO 9241, lo cual facilita una retroalimentación que favorece la escalabilidad y el mejoramiento del producto software.

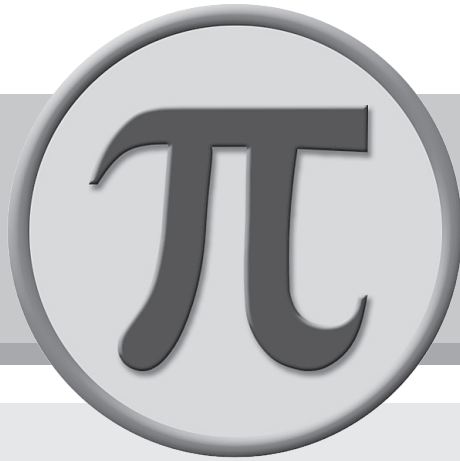
Como trabajo futuro derivado del presente artículo, se pretende evaluar la propuesta de juego serio haciendo uso del test de usuarios, aplicado a estudiantes de básica primaria dentro del laboratorio de usabilidad. Lo anterior con el fin de complementar la evaluación de usabilidad realizada mediante la técnica de focus group. De igual manera se propone usar en próximas

versiones del producto, interfaces de entrada y salida como cámaras, gafas de realidad virtual o tecnologías de realidad aumentada, mejorando la inmersión de los usuarios finales y pensando en incluir nuevas temáticas asociadas a otras áreas de la física.

REFERENCIAS

- Baloco Navarro, C. P. (2017). En la frontera del entretenimiento y la educación: juegos serios. *Cedotic*, 2(2), Recuperado en: <http://investigaciones.uniatlantico.edu.co/revistas/index.php/CEDOTIC/article/view/1869/1918>
- De Freitas, S. & Liarokapis, F. (2011) Serious Games: ¿A New Paradigm for Education? In Ma, M. et al. (eds.), *Serious Games and Edutainment Applications*, (pp. 29-54). London: Springer.
- De Freitas, S. & Neumann, T. (2009) The use of 'exploratory learning' for supporting immersive learning in virtual environments. *Computers & Education*, 52(2), 343- 352.
- De Freitas, S. & Oliver, M. (2006). How can exploratory learning with games and simulations within the curriculum be most effectively evaluated? *Computers & Education*, 46(3), 249-264.
- García Arques, J. J., Pro Bueno, A. & Saura Llamas, O. (1995). Planificación de una unidad didáctica: el estudio del movimiento. *Investigación y experiencias didácticas*, 13(2), 221-226.
- Groff, J., Clarke-Midura, J., Owen E., Rosenheck, L. & Beall, M. (2015). Better Learning in Games. A Balanced Design Lens for a New Generation of Learning Games. Learning Games Network, MIT Education Arcade Creative Commons License Attribution Share Alike 4.0 International, pp. 6-20.
- Gros Salvat, B. (2009). Certezas e interrogantes acerca del uso de videojuegos para el aprendizaje. *Comunicación*, 7(1), 251-264.
- Juuti, K., Lavonen, L. & Meisalo, V. (2007) Learning Newtonian Mechanics in Virtual and Real Learning Environments in Grade 6 in a Finnish Primary School. Proceedings of the IASTED International Conference. University of Helsinki, Finland.
- Ma, M., Oikonomou, A. & Jain, L. C. (2011). *Origins of Serious Games*. London: springer.
- Michael, D. and Chen S. (2006). Serious Games, Games that educate, train, and inform, Thomson course technology PTR, Boston.
- Mislevy, R. Almond, R. & Lukas, J. F. (2003). A brief introduction to evidence-centered design (Research Report 03-16). Princeton, NJ: Educational Testing Service. Recuperado en: <https://www.ets.org/Media/Research/pdf/RR-03-16.pdf>
- Mohanty, S. & Cantu, S. (2011) Teaching Introductory Undergraduate Physics Using Commercial Video Games. Consultado en junio 2017 en <http://arxiv.org/pdf/1107.5298v1.pdf>.

- Muñoz, K., Noguez, J., Mc Kevitt, P., Neri, L., Robledo-Rella, V. & Lunney, T. (2009). Adding Features of Educational Games for Teaching Physics. 39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference. University of Ulster, Magee 18-21 October. San Antonio. Recuperado en: <http://fie2012.fie-conference.org/sites/fie2012.fie-conference.org/history/fie2009/papers/1457.pdf>
- Novak, J. & Gowin, B. (1984). Learning how to learn. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nilsen, J. & Mack, R. (1994). Usability Inspection Methods, Proceeding Conference Companion on Human Factors in Computing Systems New York, NY.
- Pinelle, D., Wong, N. & Stach, T. (2008). Heuristic Evaluation for Games: Usability Principles for Video Game Design. Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2008), 1453-1462. DOI=10.1145/1357054.1357282.
- Sauvé, L. Renaud, I., Kaufman, D. & Marquis, J. S. (2007). Distinguishing between games and simulations: A systematic review. *Educational Technology & Society*, 10(3), 247-256.
- Singh Aggarwal, V. (2015). A Study of e-learning games on children. *Journal of Management Research*, 7, 137-142.
- Van Staalduinen, J. P. & De Freitas, S. (2011). A game-based learning framework: Linking game design and learning outcomes. In: Khyne, M.S. (ed.) *Learning to Play: Exploring the Future of Education with Video Games*. (pp. 29-54). New York: Peter Lang.
- Yusof, A. M., Gnanamalar, E. & Sarojini, D. (2011). A Current Review of the Use of Edutainment Applications to Promote Alternative Approaches in Addressing ADHD. International Conference on e-Commerce, e-Administration, e-Society, e-Education, and e-Technology (e-CASE & e-Tech 2011).
- Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, 38(9), 25-32.



HEURÍSTICAS PARA EVALUACIÓN DE USABILIDAD EN ENTORNOS VIRTUALES DE APRENDIZAJE

HEURISTICS FOR EVALUATION OF USABILITY IN VIRTUAL LEARNING ENVIRONMENTS



Marilú García Soto¹, Liliana Espinosa Ramírez²

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Programa de Ingeniería de Sistemas. Bogotá, Colombia.

Recibido: 08/11/2017 • Aprobado: 24/11/2017

RESUMEN

En la evaluación de la calidad de las aulas virtuales, específicamente de criterios relacionados con usabilidad y, teniendo en cuenta la política institucional de retención y permanencia establecida por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, así como la necesidad de que el aprendiz realice su proceso académico de manera eficiente, eficaz, comprensible y amigable, se plantea proponer, a partir de heurísticas de evaluación de usabilidad existentes, un conjunto de criterios específicos aplicables a entornos virtuales de aprendizaje (EVA) de acuerdo con algunas subcaracterísticas de usabilidad establecidas en la norma ISO/IEC 25010:2011, las cuales fueron definidas como comprensión, aprendizaje, eficiencia y atractividad; conformando un árbol de requisitos con una ponderación; propuesta que fue sometida a validación por parte de evaluadores; para finalizar con la generación de una matriz ponderada de evaluación heurística de usabilidad web preliminar que fue aplicada en aulas virtuales de la Unad.

Palabras clave: *atributo, calidad, docencia en línea, evaluación, heurística, métrica, usabilidad.*

ABSTRACT

In the evaluation of the quality of the virtual classrooms and specifically of the criteria related to usability and taking into account the institutional policy of retention and permanence established by the Universidad Nacional Abierta y a Distancia, and the need for the apprentice perform their education process in an efficient, effective, understandable and friendly way, we propose some specific criteria applied to virtual learning environments, based on the existing usability evaluation criteria. We propose this in the frame of some subcategories established in ISO / IEC 25010: 2011, defined as Understanding, Learning, Efficiency and Attractiveness, forming a requirements tree with a weighting. This proposal was validated by evaluators; to finish with the generation of a general matrix of evaluation of preliminary web usability that was applied in virtual classrooms of the Unad.

Key words: *attribute, evaluation, heuristics, metric, on-line teaching, quality, usability.*

¹ marilu.garcia@unad.edu.co, orcid.org/0000-0002-4182-559X

² liliana.espinosa@unad.edu.co, orcid.org/0000-0002-6118-6844

1. INTRODUCCIÓN

Los entornos web están en continua evolución, particularmente su objetivo es que sean más usables, accesibles y seguros con el fin de ofrecer a los usuarios una interfaz adecuada para lograr mayor efectividad en las tareas que se desarrollan durante la navegación (Krug, 2006).

Para el desarrollo del proceso de enseñanza - aprendizaje y específicamente de las diferentes actividades académicas en un entorno virtual de aprendizaje (EVA), se deben considerar en la evaluación unas características básicas, herramientas, funcionalidades, fortalezas y debilidades, en cuanto a su estructura, uso e interacción.

Específicamente en aspectos relacionados con la usabilidad, se hace necesario, de acuerdo al tema objeto de investigación, que se cumplan ciertos criterios de importancia; entre otros, se mencionan la capacidad para reconocer su adecuación, capacidad de aprendizaje y estética de la interfaz de usuario. (Estándar ISO/IEC 25000:2014).

De acuerdo a la norma Estándar ISO 9241-11:1998 "Guidance on usability", revisada en 2018, la cual define el concepto de usabilidad en términos de calidad de uso como "medida en que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico", lo que se representa en tres grandes categorías, a saber, cómo son la eficacia, la eficiencia y la satisfacción con la que un producto permite alcanzar los objetivos en un contexto de uso de determinado; estas características fueron tenidas en cuenta en el proyecto; adicionalmente, la norma ISO/IEC 25010:2011, que es un estándar internacional para la evaluación de la calidad del software, define el concepto de usabilidad como: "Capacidad del producto software para ser entendido, aprendido, usado y resultar atractivo para el usuario, cuando se usa bajo determinadas condiciones".

La evaluación de usabilidad es un componente central del enfoque de diseño centrado en el usuario (UCD) y tiene como objetivo principal evaluar la efectividad, la eficiencia y la satisfacción cuando los usuarios interactúan con un producto / servicio para influir en su decisión de adopción y uso (es decir, usuario aceptación). (Bla, Arh & Bla, 2014).

Teniendo en cuenta los planteamientos anteriormente mencionados, se reflexiona que en la actualidad no se realiza un proceso formal de evaluación de usabilidad de los entornos virtuales de aprendizaje de la Unad, por lo tanto, surge el siguiente cuestionamiento:

¿Debe desarrollarse una matriz de evaluación heurística que sirva de base para la construcción de un modelo que permita evaluar la usabilidad de las aulas virtuales de la Unad como apoyo a los procesos pedagógicos?

Finalmente, en nuestra experiencia profesional como docentes en educación virtual en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Unad), se observa que los usuarios (docentes y estudiantes), al desarrollar el proceso académico a través del entorno virtual, pueden presentar posibles demoras para conocer y entender su uso, navegabilidad y adaptación, interactuando con el aula virtual; lo que puede conllevar a confusiones en la búsqueda, inadecuada utilización de recursos y reducción de la productividad por parte de los diferentes actores del proceso. Por lo tanto, se propone plantear una matriz de evaluación con algunos criterios heurísticos básicos que permitan evaluar la usabilidad web de las aulas virtuales.

Según (Gonzalez, Lorés & Pascual, 2006), la heurística trata de aplicar normas convencionales a la interacción entre el hombre y la máquina. Su objetivo es reducir la brecha entre el usuario y el sistema, para favorecer el logro de los objetivos. Las heurísticas hacen referencia a directrices o reglas definidas por expertos, que pueden ser utilizadas como ayuda para los evaluadores con el fin de identificar problemas de usabilidad.

Para acercarse a esta problemática, la metodología utilizada en la investigación se desarrolló en cuatro pasos; en este caso, se presenta la fase del contexto de la investigación, que contiene información recopilada sobre estudios de evaluación de usabilidad en entornos virtuales de aprendizaje; posteriormente se tuvieron en cuenta cuatro atributos de usabilidad web con sus características para conformar el árbol de requisitos, consolidando una matriz ponderada de evaluación heurística de usabilidad, la cual fue aplicada en el entorno real.

2. DESARROLLO

2.1 Contexto de la investigación

Algunos estudios relacionados con metodología, modelos y normativas de evaluación de usabilidad que se tuvieron en cuenta, se describen a continuación:

Metodología de medición y evaluación de la usabilidad en sitios web educativos -Tesis doctoral. Universidad de Oviedo.

En esta tesis, la autora (Alva, 2005), propone una metodología que permite realizar la medición y evaluación de la usabilidad en sitios web educativos desde los puntos de vista del usuario y del experto; para el ejercicio del enfoque del usuario hace uso del método de indagación y en la del experto utiliza métodos de inspección.

En la evaluación, por parte del usuario, considera la población de acuerdo con la edad o etapa de la persona y el perfil en el sentido del nivel de conocimiento o uso del sitio; lo anterior con el fin de definir los aspectos a evaluar de la usabilidad según lo apropiado para dicho tipo de población. En cuanto a la evaluación por el experto, combina métodos de inspección para así comprobar que se cumple con una serie de características y evidenciando el impacto de las que no se cumplen.

Las técnicas utilizadas en los métodos de evaluación fueron cuestionarios y aplicación individual de métodos de inspección desde diferentes perspectivas.

Diseño de un modelo de evaluación de entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje basado en la usabilidad (Ferreira, 2013). En este trabajo el autor propone un modelo que facilita la evaluación de la calidad de los Entornos Virtuales de Enseñanza y Aprendizaje (EVEA), teniendo en cuenta como aspecto principal la usabilidad. Debido al auge que está tomando el tema, se trabaja como aspecto primordial en la calidad de los productos en ambiente web. El modelo desarrollado se denominó "MUsa" el cual está orientado en cuatro niveles de evaluación, que van desde lo general hacia lo particular, donde las enunciaciones de usabilidad, sus atributos y las respectivas heurísticas conforman el eje central del modelo.

La evaluación se apoya en escenarios reales de uso, haciendo énfasis en los alumnos y docentes, los objetivos que se proponen, las tareas específicas que realizan dentro del entorno durante las actividades de enseñanza y aprendizaje, el modelo mental que utilizan, el equipamiento e infraestructura que disponen, el lugar físico donde habitualmente interactúan, y el entorno social en el cual están inmersos.

La primera capa evalúa el entorno general del EVA, los tres restantes se aplican en un contexto específico, como un aula virtual, utilizando técnicas, métodos e instrumentos diferentes para optimizar la evaluación.

De acuerdo al autor, MUsa puede adaptarse en dos sentidos, omitiendo completamente algunas de las capas, o eligiendo diferentes alternativas dentro de la segunda capa.

2.1.1 Normativas y estándares

A continuación, se presentan algunas de las normas y estándares más relevantes existentes en el marco nacional e internacional referentes a usabilidad web.

Estándar ISO 9241-11:1998 "Guidance on usability", revisada 2018.

La cual define el concepto de usabilidad en términos de calidad de uso (cómo el usuario realiza tareas

específicas en escenarios específicos con efectividad), en tres grandes categorías a saber; como son la eficacia, eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar los objetivos específicos en un contexto de uso de específico.

Estándar ISO/IEC 25010:2011

El cual define el concepto de Usabilidad como “Capacidad del producto software para ser entendido, aprendido, usado y resultar atractivo para el usuario, cuando se usa bajo determinadas condiciones”. Esta característica se subdivide a su vez en las siguientes subcaracterísticas: Capacidad para reconocer su adecuación, capacidad del producto que permite al usuario entender si el software es adecuado para sus necesidades, capacidad de aprendizaje, capacidad del producto que permite al usuario aprender su aplicación, capacidad para ser usado, capacidad del producto que permite al usuario operarlo y controlarlo con facilidad, protección contra errores de usuario, capacidad del sistema para proteger a los usuarios de hacer errores, estética de la interfaz de usuario, capacidad de la interfaz de usuario de agradar y satisfacer la interacción con el usuario y accesibilidad, definida como la capacidad del producto que permite que sea utilizado por usuarios con determinadas características y discapacidades.

Estándar ISO/IEC 25000:2014, denominado también SQuaRE (Software Product Quality Requirements and Evaluation). En este estándar se muestra básicamente la unificación y revisión de los estándares ISO/IEC 9126 (Calidad del producto software) e ISO/IEC 14598-6:2001 (Evaluación del producto). Es un estándar que establece parámetros para organizar, enriquecer y unificar el conjunto de elementos que abarcan los siguientes procesos: - La determinación de los requisitos de calidad del software y - La evaluación de la calidad del software, estos dos soportados por el proceso de medir la calidad del software

(Technical Committee ISO/IEC JTC 1, Information technology, Subcommittee SC 7, Software and systems engineering, 2014).

Política de gobierno digital Estado colombiano. Estas directrices se encuentran recopiladas en el “Manual del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la República de Colombia 2012 - 2015” (Carvajal & Saab, 2010) las cuales forman parte de la estrategia de gobierno en línea y cuyo fin es la implementación de los decretos 1151 de 2008 y 2693 de 2012, e incluye entre otros, un conjunto de reglas que se constituyen en un aspecto principal con fines de ofrecer una mejora en la calidad de los sitios web colombianos y por ende una mejor experiencia para el usuario.

En el manual se presentan temas agrupados en varios capítulos, todos relacionados con las diferentes fases de desarrollo de un sitio web, como son: diseño de interfaz de usuario, búsqueda, arquitectura de información, diseño de interacción, pruebas de usabilidad y contenido.

2.2 Conformación del árbol de requisitos para evaluación de aulas virtuales de la Unad

Contar con un árbol de requerimientos general, pero a su vez fácilmente adaptable a diversos dominios, sería de gran beneficio para tareas de aseguramiento y control de calidad, posibilitando potencialmente la automatización de las mismas (Olsina, 1999;2002).

A partir de estándares de calidad de software existentes, relacionados con usabilidad, se propone generar un árbol de requisitos para evaluar las aulas virtuales de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Unad), incluyendo criterios heurísticos basados en atributos y características. En la Tabla 1, se muestran los modelos relacionados con los estándares que se tuvieron en cuenta.

TABLA 1
Estándares de calidad

Usabilidad estándar ISO 9241-11:1998 “Guidance on usability”, revisada 2018	Eficacia
	Eficiencia
	Satisfacción
Usabilidad estándar ISO/IEC 25010:2011	Inteligibilidad
	Aprendizaje
	Operabilidad
	Protección frente a errores de usuario
	Estética
	Accesibilidad

Las heurísticas más relevantes fueron propuestas por los autores Schneiderman, Nielsen, Instone, Constantine, Mayhew, Norman y Tognazzini, (Ferreira & Sanz, 2013), quienes son referentes en el tema y aunque manejan percepciones similares, en algunos casos hay diferencias en su concepto. De acuerdo a ello se propone el árbol de requisitos para evaluación de aulas virtuales de la Unad, el cual está compuesto de atributos; los cuales se desglosan en características.

En la Tabla 2, se muestra la asociación de las heurísticas propuestas, con las definidas por los autores referentes.

TABLA 2
Asociación heurísticas autores y heurísticas propuestas

Heurística y autores	Heurística propuesta
Consistencia y estilo comunicativo- (Schneiderman, Nielsen, Instone, Constantine, Mayhew, Norman, Tognazzini)	Comprensión
Topografía (Norman, Tognazzini, Nielsen, Instone,)	
Intuitividad (Schneiderman, Nielsen, Instone, Constantine, Norman)	

Heurística y autores	Heurística propuesta
Reutilización (Schneiderman, Nielsen, Instone, Constantine)	Aprendizaje
Consistencia (Schneiderman, Nielsen, Instone, Constantine, Mayhew, Norman, Tognazzini)	
Ayuda y documentación (Nielsen, Instone)	
Simplicidad (Constantine, Mayhew, Tognazzini)	Eficiencia
Productividad (Schneiderman, Nielsen, Instone)	
Diseño y organización, (Schneiderman, Nielsen, Instone, Constantine, Mayhew)	Atractividad

En concreto, los cuatro (4) atributos propuestos son:

TABLA 3
Atributos propuestos

Atributo Definido en ISO/IEC 9126-1: 2001. actualizada ISO/IEC 25010:2011	Descripción en el aula virtual
Comprensión: Capacidad del software de ser entendido por usuarios en términos de un propósito y cómo puede ser usado en tareas específicas.	Capacidad del sitio web de permitir al usuario entender si el aula virtual es adecuada y puede ser usada para realizar las tareas de su rol.
Aprendizaje Capacidad del producto de ser aprendido en su manejo.	Capacidad del sitio web para permitir a los usuarios aprender a usar los diferentes recursos en el aula virtual.
Eficiencia Capacidad del producto de ser usado y controlado.	Capacidad de disponer de los espacios para conseguir un fin.
Atractividad Capacidad del producto de ser atractivo para sus usuarios.	Capacidad de un sitio web para atraer y seducir al usuario en cuanto a los atributos tales como el uso de color, la naturaleza del diseño gráfico, entre otros.

2.2.1 Características de los atributos de usabilidad

Para definir las características de los atributos, se consideraron algunas de las directrices de usabilidad web registradas en el documento oficial “Directrices de usabilidad para sitios web del Estado colombiano” (Carvajal & Saab, 2010), las cuáles se mencionan de forma general a continuación:

- **Arquitectura de la información:** hace referencia a la estructura y presentación de la información y componentes del sitio.
- **Diseño de interfaz de usuario:** hace referencia a una interfaz útil y atractiva al usuario.
- **Diseño de interacción:** hace referencia al comportamiento y las características que debe poseer el sitio *web* para que sea fácil de usar y comprender.

En resumen, éstas se sustentan con la Figura 1, Características de los atributos propuestos, que teniendo en cuenta los atributos y características propuestos, se define el árbol de requisitos.

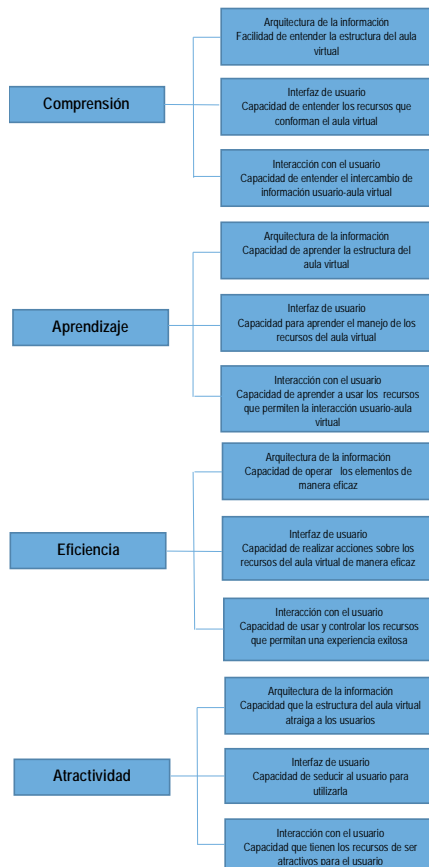


Fig. 1. Características de los atributos propuestos
 Fuente: autores

2.3 Matriz ponderada de evaluación heurística de usabilidad web

Basados en los atributos y características ya mencionados, se conformó una matriz ponderada, descrita en la tabla 4.

A los atributos le fueron asignados los siguientes porcentajes:

TABLA 4
 Ponderación de atributos

Atributo	Ponderación
Comprensión	26%
Aprendizaje	26%
Eficiencia	26%
Atractividad	22%

De acuerdo con los atributos planteados se puede afirmar que la comprensión, el aprendizaje y la eficiencia, son esenciales para que el usuario pueda cumplir el proceso académico y el atributo de atractividad, aunque es muy importante contar con un sitio web que seduzca al usuario; puede ser utilizado normalmente, y por ello se le asignó un menor puntaje.

Las características de segundo y último nivel, tienen distribuida su respectiva ponderación por grupo, sumando un 100% como se describe en la tabla 5.

TABLA 5
 Ponderación de características

Atributo	Característica Arquitectura de la información	Característica Interfaz de usuario	Característica Interacción con el usuario
Comprensión	40%	50%	10%
Aprendizaje	60%	30%	10%
Eficiencia	30%	55%	15%
Atractividad	20%	40%	40%

Las características de último nivel se evalúan según una escala Likert entre 1 y 5 donde se tiene en cuenta el cumplimiento de cada ítem, como se detalla en la tabla 6.

TABLA 6

Ponderación propuesta características ultimo nivel

Ponderación	Nivel de cumplimiento
1	Cumplimiento muy bajo
2	Cumplimiento bajo
3	Cumplimiento aceptable
4	Cumplimiento alto
5	Cumplimiento muy alto

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se construyó la primera matriz ponderada de evaluación heurística de usabilidad web propuesta para ser aplicada en las aulas virtuales de la Universidad Nacional abierta y a Distancia.

La matriz propuesta corresponde a una métrica directa (métrica de un atributo que no se deriva de ninguna métrica de otro atributo), e indirecta (métrica de un atributo que depende de una o más métricas de otro atributo), lo que permite arrojar el resultado de una equivalencia entre relaciones de dos o más atributos, y el nuevo valor que sirve como referencia para describir y evaluar el desglose de las características del sitio web.

La estructura de la matriz es un documento de hoja de cálculo que contiene, en el bloque superior, el encabezado para registrar los datos del aula a evaluar, el nombre del evaluador, la fecha y un espacio para la nota que se genera automáticamente. En el segundo bloque, se registra la puntuación considerada por el evaluador para cada una las características de último nivel, el cual está configurado con las fórmulas respectivas de acuerdo con las ponderaciones propuestas, con el fin de generar de forma automática los cálculos correspondientes al momento de ir registrando la información. Se evidencia además que en el bloque lateral derecho de cada atributo se encuentra un espacio para que el evaluador registre las observaciones pertinentes, que considere necesarias de acuerdo con su valoración.

La matriz propuesta fue sometida a evaluación por parte de tres (3) docentes con experticia en este proceso y con amplio conocimiento en el manejo de las aulas virtuales de la Unad, en razón a que tienen más de diez años con la institución.

El método utilizado, para que los evaluadores realizaran el proceso, fue un formulario en línea con diez y ocho (18) preguntas. De esta evaluación se obtuvieron varios comentarios que sirvieron de base para realizar ajustes y crear la segunda versión.

Los criterios utilizados en esta etapa fueron: claridad, utilidad y pertinencia de los atributos y las características del segundo y último nivel; se les solicitó a los evaluadores calificar los tres criterios por medio de una escala Likert entre 1 y 5; lo que permitió obtener un primer diagnóstico de la aceptación de la propuesta. En síntesis, se trata de la siguiente escala:

TABLA 7

Criterios de evaluación de la matriz propuesta

Criterios evaluados	escala utilizada
Criterios de Claridad:	
Completamente difuso	1 Cumplimiento muy bajo
Difuso	2 Cumplimiento Bajo
Neutral	3 Cumplimiento Aceptable
Claro	4 Cumplimiento Alto
Completamente claro	5 Cumplimiento Muy alto
Criterios de utilidad:	
Completamente inútil	1 Cumplimiento Muy bajo
Inútil	2 Cumplimiento Bajo
Neutral	3 Cumplimiento Aceptable
Útil	4 Cumplimiento Alto
Completamente útil	5 Cumplimiento Muy alto
Criterios de pertinencia:	
Definitivamente No es pertinente	1 Cumplimiento Muy bajo
No es pertinente	2 Cumplimiento Bajo
Neutral	3 Cumplimiento Aceptable
Es pertinente	4 Cumplimiento Alto
Completamente Pertinente	5 Cumplimiento Muy alto

El criterio claridad, tuvo por objetivo medir la comprensión en la redacción de cada uno de los elementos de la matriz; en el segundo criterio, utilidad, se pretendió que el evaluador analizara la relevancia de cada uno de ellos; y el último tiene como fin, medir si las características de segundo y tercer nivel están relacionadas o no con el atributo.

De igual manera se planteó la siguiente pregunta encaminada a conocer la experticia en evaluaciones:

¿Ha participado en ocasiones anteriores en este tipo de evaluaciones?: Si/No

Los tres (3) evaluadores respondieron afirmativamente. Adicionalmente se solicitó que contestaran los siguientes interrogantes relacionados con el instrumento:

¿Cómo le pareció evaluar el instrumento? Muy difícil (1), Difícil (2), Neutral (3), Fácil (4), Muy fácil (5).

¿Considera que el instrumento cubre los aspectos más importantes para medir usabilidad web en las

aulas virtuales de la Unad? Definitivamente no (1), No (2), Neutral (3), Sí (4), Definitivamente Sí (5).

¿Utilizaría ese instrumento para medir usabilidad web en aulas virtuales de la Unad?

Definitivamente no lo utilizaría (1), No lo utilizaría (2), Neutral (3), Sí lo utilizará (4), Definitivamente sí lo utilizará (5).

Como conclusión de la evaluación se evidencia que la matriz propuesta fue valorada satisfactoriamente por los tres evaluadores, como se muestra en la Figura 2, con una favorabilidad del 75% en la mayoría de las preguntas.

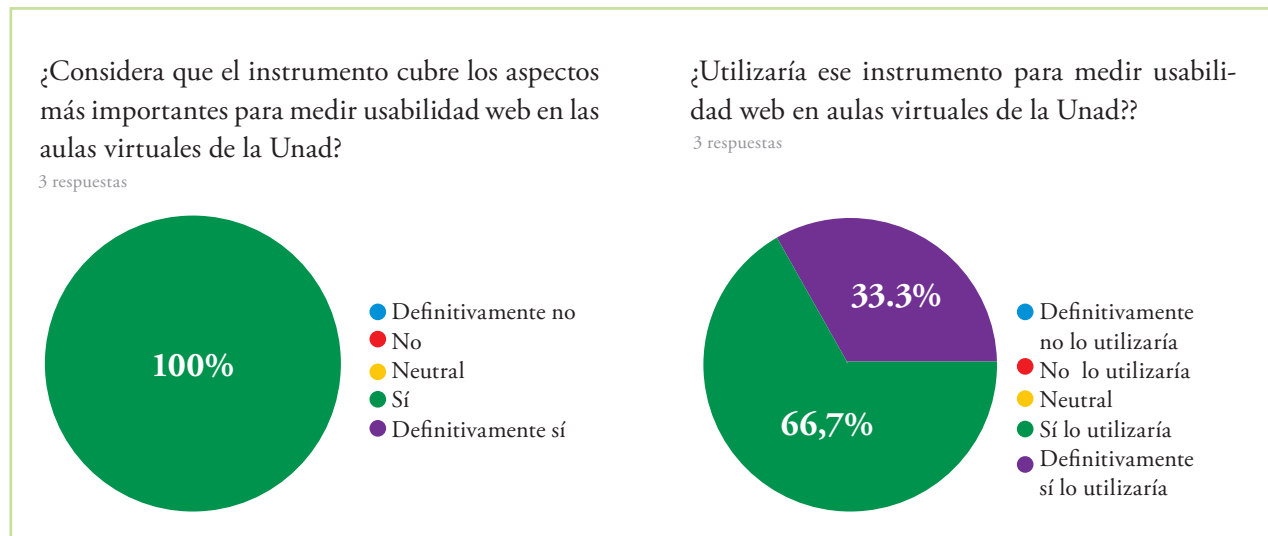


Fig. 2. Resultados de la evaluación

Fuente: autores

La recomendación más relevante fue la de establecer el mismo porcentaje para los cuatro atributos; la cual fue acogida, ajustando

la matriz para ser aplicada en el entorno real. Tabla 8, Matriz ponderada de evaluación heurística de usabilidad web.

TABLA 8
Matriz ponderada de evaluación de heurísticas de usabilidad web propuesta

Nombre Curso:						
Código curso:						
Evaluador:						
Fecha:						
Nota:				0		
25%	1. Comprensión: Se define como la capacidad del sitio web de permitir al usuario entender si el aula virtual es adecuada y puede ser usada para realizar las tareas de su rol.		0,0	0,00		Observaciones Bloque Comprensión
40%	1.1 Arquitectura de la Información: Se define como el arte y la ciencia de estructurar y organizar los sitios web e intranets para que las personas puedan encontrar y gestionar la información exitosamente		0,00	0,00		
	1.1.1 Claridad en la navegabilidad (facilidad de desplazarse) por los diferentes entornos y contenidos del aula virtual.		0			
	1.1.2 La información del enlace Participantes es clara y suficiente		0			
	1.1.3 La información del entorno de seguimiento y evaluación es de fácil comprensión		0			
	1.1.4 La información del entorno de gestión del estudiante es de fácil comprensión		0			
50%	1.2 Interfaz de usuario: Es el conjunto de elementos de la pantalla que permiten al usuario realizar acciones sobre el Sitio Web		0,00	0,00		
	1.2.1 El contenido de la tabla de calificaciones es clara y suficiente para comprender los resultados obtenidos en cada una de las actividades		0			
	1.2.2 El contenido de la agenda de actividades es claro y suficiente para comprender el cronograma del curso		0			
	1.2.3 La información de ubicación de los cuestionarios es clara en el aula virtual del curso, en caso que exista		0			
	1.2.4 La información contenida en el syllabus es clara y suficiente para comprender la visión general del curso		0			
	1.2.5 Es claro el objetivo que tiene la sección de fuentes documentales		0			
10%	1.3 Interacción con el usuario: Es el intercambio de información mediante software entre las personas y las computadoras		0,00	0,00		
	1.3.1 Ubicación de las herramientas de comunicación (foro, correo) disponibles en el aula, son de fácil comprensión		0			
25%	2. Aprendizaje: Se define como la capacidad del sitio web para permitir a los usuarios aprender a usar sus diferentes recursos.		0,0	0,00		Observaciones Bloque Aprendizaje
60%	2.1 Arquitectura de la información: Se define como el arte y la ciencia de estructurar y organizar los sitios web e intranets para que las personas puedan encontrar y gestionar la información exitosamente		0,00	0,00		
	2.1.1 Existe facilidad en el uso de los recursos dispuestos en el aula virtual		0			
	2.1.2 La ruta de búsqueda del correo interno es de fácil recordación		0			
	2.1.3 La ruta de búsqueda del recurso foro es de fácil recordación		0			
	2.1.4 La ruta de búsqueda de la guía de actividades es de fácil recordación		0			
	2.1.5 La ruta de búsqueda de la entrega de actividades es de fácil recordación		0			
	2.1.6 La ruta de búsqueda de las calificaciones es de fácil recordación		0			
	2.1.7 La ruta de búsqueda del syllabus es de fácil recordación		0			
	2.1.8 La ruta de búsqueda de las fuentes documentales es de fácil recordación		0			
	2.1.9 Existe Facilidad en el uso de las herramientas de gestión del estudiante		0			
30%	2.2 Interfaz de usuario: Es el conjunto de elementos de la pantalla que permiten al usuario realizar acciones sobre el Sitio Web		0,00	0,00		
	2.2.1 Los títulos y subtítulos de cada una de las secciones son de fácil recordación		0			
	2.2.2 Facilita al usuario la utilización de la tabla de calificaciones		0			
	2.2.3 Facilita al usuario la consulta de la agenda semaforizada		0			
	2.2.4 Facilita al usuario la entrega de actividades		0			
	2.2.5 Facilita al usuario la utilización (consulta y descarga) de las fuentes documentales		0			
10%	2.3 Interacción con el usuario: Es el intercambio de información mediante software entre las personas y las computadoras		0,00	0,00		
	2.3.1 Facilita al usuario la utilización del correo interno		0			
	2.3.2 Facilita al usuario la utilización (interacción, consulta y realimentación) del recurso foro		0			
25%	3. Eficiencia: Se define como la capacidad de disponer de los espacios para conseguir un fin.		0,0	0,00		Observaciones Bloque Eficiencia
25%	3.1 Arquitectura de la Información: Se define como el arte y la ciencia de estructurar y organizar los sitios web e intranets para que las personas puedan encontrar y gestionar la información exitosamente		0,00	0,00		
	3.1.1 La jerarquía y organización de las secciones (entornos y su contenido) en el aula virtual es eficiente para ejercer cada uno de los roles de usuario		0			
	3.1.2 La utilidad de expandir y ocultar los bloques laterales es fácil de operar		0			
	3.1.3 El bloque de barras de progreso es fácil de consultar		0			
60%	3.2 Interfaz de usuario: Es el conjunto de elementos de la pantalla que permiten al usuario realizar acciones sobre el Sitio Web		0,00	0,00		
	3.2.1 Los enlaces dispuestos en el aula son coherentes con su contenido		0			
	3.2.2 El bloque calendario es fácil de consultar		0			
	3.2.3 El bloque de ayudas es fácil de consultar		0			
	3.2.4 El bloque de últimas noticias es fácil de consultar		0			
	3.2.5 La sección de herramientas de gestión del estudiante es fácil de consultar		0			
	3.2.6 El recurso glosario es fácil de usar		0			
	3.2.7 El enlace Participantes es fácil de usar		0			
	3.2.8 El bloque de acompañamiento docente (encuentros sincrónicos vía web conferencia/atención sincrónica vía Skype es fácil de usar)		0			
15%	3.3 Interacción con el usuario: Es el intercambio de información mediante software entre las personas y las computadoras		0,00	0,00		
	3.3.1 El recurso E-portafolio/Diario es fácil de usar		0			
	3.3.2 La operabilidad de la notificación de novedades al correo externo es fácil de usar		0			
25%	4. Atractividad: Se define como la capacidad de un sitio web para atraer y seducir al usuario en cuanto a los atributos tales como el uso de color, la naturaleza del diseño gráfico, entre otros.		0,0	0,00		Observaciones Bloque Atractividad
20%	4.1 Arquitectura de la información: Se define como el arte y la ciencia de estructurar y organizar los sitios web e intranets para que las personas puedan encontrar y gestionar la información exitosamente		0,00	0,00		
	4.1.1 Los atributos (colores, textos, diseño gráfico) de los entornos virtuales son amigables y atractivos		0			
40%	4.2 Interfaz de usuario: Es el conjunto de elementos de la pantalla que permiten al usuario realizar acciones sobre el Sitio Web		0,00	0,00		
	4.2.1 La presentación de la tabla de calificaciones es amigable y atractiva		0			
	4.2.2 El tipo, tamaño y texto de los enlaces es amigable y atractivo		0			
40%	4.3 Interacción con el usuario: Es el intercambio de información mediante software entre las personas y las computadoras		0,00	0,00		
	4.3.1 El recurso correo interno es amigable y atractivo		0			
	4.3.2 El recurso foro es amigable y atractivo		0			

Fuente: autores

Basados en la recomendación, se calcula la calificación final del aula virtual de aprendizaje, ponderando cada uno de los atributos, así:

$$\text{Calificación final} = 0,25 * C + 0,25 * A_p + 0,25 * E + 0,25 * A$$

En donde, cada letra equivale al valor numérico de los atributos:

- C** = Comprensión
- A_p** = Aprendizaje
- E** = Eficiencia
- A** = Atractividad

2.4 Aplicación de la matriz en el entorno real

Una vez son definidas las métricas, se realiza la validación diagnóstica mediante la aplicación en el entorno real concreto, es decir en aulas virtuales de la Unad tanto por usuarios reales como por las autoras de este proyecto.

Parte de la evaluación realizada para la validación de los criterios heurísticos propuestos se realizó utilizando métodos de inspección como son las evaluaciones heurísticas.

Estas métricas implican dos partes bien diferenciadas para la evaluación de las aulas virtuales de aprendizaje; la validación de expertos y la recogida de información a través de encuestas.

Según (Ferreira, 2013), Los métodos de inspección se basan en normas generales y en la experiencia, habilidad y conocimiento de expertos, los cuales realizan un examen de la interfaz y emiten un juicio sobre la misma.

La validación por las autoras del proyecto, se realiza haciendo uso de la matriz ponderada de evaluación heurística de usabilidad web propuesta tabla 8, con las métricas definidas, que consiste en revisar mediante técnica de inspección manual una serie de parámetros y asignar una medida a cada uno. En concreto, se tuvo acceso a la plataforma con un perfil de usuario docente, en donde se realizó la revisión respectiva del aula virtual de un curso académico para conocer el comportamiento de acuerdo con los atributos propuestos en las métricas; finalizando con el diligenciamiento del puntaje obtenido por cada característica de último nivel solicitado en la matriz de hoja de cálculo.

En conclusión, los resultados de la evaluación por los docentes expertos, se puede resumir en la tabla 9, donde se muestra el comparativo por atributo, teniendo en cuenta que la máxima ponderación es 5.0 y la mínima es 0.0. Los dos evaluadores

coincidieron en que el atributo con mayor cumplimiento es Comprensión, y Aprendizaje es el de menor porcentaje de cumplimiento.

TABLA 9
 Comparativo por atributo, Experto, 1, vs Experto 2

Docente experto	Comprensión	Aprendizaje	Eficiencia	Atractividad
Docente experto 1	4,3	4,0	4,0	4,2
Docente experto 2	4,5	4,2	4,3	4,2

Adicional a lo anterior, se aplicó el instrumento a más de 3.000 usuarios reales, activos del aula virtual, de diferentes programas, correspondientes a dos periodos académicos, utilizando un formulario en línea, que es un proceso rápido y eficiente por medio de la aplicación de una encuesta para conocer la percepción y el grado de satisfacción que tienen con relación al aula virtual de la Unad.

La encuesta está estructurada de acuerdo al rol del usuario, teniendo en cuenta los cuatro atributos ya definidos, como se ilustra en la tabla 10.

TABLA 10
 Estructura encuesta a usuarios

Atributo	Característica Arquitectura de la información	Característica Interfaz de usuario	Característica Interacción con el usuario
Comprensión	40%	50%	10%
Aprendizaje	60%	30%	10%
Eficiencia	30%	55%	15%
Atractividad	20%	40%	40%

Con el fin de garantizar la validez y precisión de los resultados aplicados en el entorno real, se realizó un análisis de fiabilidad estadística, cuyos resultados son favorables según se evidencia en las tablas 11, 12, 13 y 14.

Estudiantes:

TABLA 11

Resumen del procesamiento de los casos a eliminación por lista basada en todas las variables del procedimiento.

		N	%
Casos	Válidos	2118	75,5
	Excluidos(a)	689	24,5
	Total	2807	100,0

Fuente: autores

TABLA 12

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,937	43

Fuente: autores

Docentes:

TABLA 13

Resumen del procesamiento de los casos

		N	%
Casos	Válidos	353	93,6
	Excluidos(a)	24	6,4
	Total	377	100,0

TABLA 14

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,845	20

Teniendo en cuenta que la muestra fue significativa, al ser consultados más de 3.100 usuarios, se considera información relevante que servirá de base para realizar validaciones posteriores, con la aplicación de otros instrumentos que pueden aportar a una conclusión definitiva.

Para medir las variables resultantes, se realizó una tabla de operacionalización que incluyó la escala Likert que se detalla a continuación:

Respuesta mala (0), Respuesta regular (1),
Respuesta buena (2), Respuesta muy buena (3)

Teniendo en cuenta la frecuencia promedio de cada uno de los criterios de respuesta; fueron asociados a la escala descrita anteriormente, para obtener el promedio de cada atributo. Un comparativo de los resultados de los docentes vs estudiantes; se detallan en la tabla 15, donde se puede afirmar de manera preliminar que la calificación que dan los usuarios finales al aula virtual de acuerdo con la escala Likert es “Buena”.

De acuerdo con la aplicación de la matriz ponderada de evaluación heurística de usabilidad web propuesta, arquitectura de la información es una de las características con más baja aceptación por parte de los usuarios.

Respecto a la interfaz de usuario, los resultados reflejan que los enlaces dispuestos en el aula no siempre son coherentes con su contenido; por ejemplo, en el caso particular de los foros, lo único que identifica este recurso es el ícono, más no su rótulo.

TABLA 15

Comparativos resultados docentes vs estudiantes

Atributo	Promedio docentes	Promedio estudiantes
Comprensión	2,0	2,1
Aprendizaje	2,5	2,5
Eficiencia	2,5	2,2
Atractividad	2,3	2,2
Promedio parcial	2,3	2,3
Promedio general	2,3	
Calificación:	Buena	

En cuanto a la interacción con el usuario, los resultados infieren que los atributos (colores, textos y diseño gráfico) de los entornos virtuales, la tabla de calificaciones, la sección de correo y el recurso foro, no son lo suficientemente amigables y atractivos.

Una de las posibles causas de deserción del estudiante nuevo, en la Unad, puede ser la falta de entendimiento en el uso de los recursos del aula virtual. La organización adecuada del sitio web es clave para que los usuarios comprendan cómo funciona y por lo tanto puedan realizar los procesos de manera fácil, rápida e intuitiva (Ferreira & Sanz, 2013); lo que permitiría aumentar su motivación al desarrollar las tareas en el aula virtual.

3. CONCLUSIONES

Según (Ardito et al., 2006), la usabilidad juega un papel importante para el éxito de las aplicaciones de E-learning, si éste

no es lo suficientemente eficiente, dificultará el aprendizaje de los estudiantes, al dedicar más tiempo en aprender a usar el sistema en lugar de aprender el contenido de las asignaturas.

Se considera importante definir protocolos de evaluación de usabilidad web del aula virtual y aplicarlos con frecuencia en los procesos académicos (Mor & Galofré, 2007); con el fin de detectar debilidades de usabilidad y establecer planes de mejora.

A pesar de que existe una variedad de metodologías que permiten evaluar sitios web, se considera importante elaborar un instrumento que permita evaluar la usabilidad web en entornos virtuales de aprendizaje.

Este trabajo fue motivado por la necesidad identificada de proveer un instrumento que permita evaluar la usabilidad web, concretamente de la

estructura de las aulas virtuales de la Unad; para ello se conformó una matriz ponderada de evaluación de heurísticas de usabilidad web, en donde se consolidaron los atributos de calidad del software planteados por el Estándar ISO/IEC 25010:2011 y algunas características de la política de gobierno digital del Estado colombiano, para continuar con la definición de las características de segundo nivel, personalizadas en el contexto de la Unad.

Cabe resaltar que la matriz, aunque es una versión preliminar, sí consolida los aspectos básicos de usabilidad web que se deben tener en cuenta en el momento de evaluar un aula virtual; este instrumento fue validado en el entorno real con usuarios finales y aulas virtuales vigentes. Se considera interesante, actualizarla con nuevas versiones de acuerdo con estudios posteriores.

4. TRABAJO FUTURO

Partiendo del hecho que en este trabajo se desarrolló un primer avance en la definición de la matriz con los criterios heurísticos para evaluar entornos virtuales de aprendizaje, se hace necesario ampliar los estudios en este campo para proponer una definición más concreta de dicho instrumento que cubra en su totalidad la evaluación de las funcionalidades primordiales de las aulas virtuales de la Unad.

De igual manera se podría plantear incluir en la matriz general, ejemplos de las características de último nivel, con el fin de facilitar la revisión del evaluador.

Otro tema interesante para posteriores estudios son los procedimientos de etnografía aplicada a la experiencia de usuarios, utilizando técnicas de construcción de personas mediante una investigación directa de modelado de usuarios, tendientes a evaluar usabilidad web con usuarios finales del aula virtual.

REFERENCIAS

- Alva, M. (2005). Metodología de medición y evaluación de la usabilidad en sitios web educativos. Tesis doctoral. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Ardito, C., Costabile, M. F., Marsico, M. D., Lanzilotti, R., Levialdi, S., Roselli, T., & Rossano, V. (2006). An approach to usability evaluation of e-learning applications. *Universal Access in the Information Society*, 4(3), 270-283.
- Blažič, B. J., Arh, T., & Blažič, A. J. (2014). An Approach in the Design of Virtual Environment for e-Learning Based on Usability Studies. En: *Proceedings of the 9th International Conference on e-Learning: ICEL 2014* (p. 95). Academic Conferences Limited.
- Carvajal, M. & Saab, J. (2010). Lineamientos y metodologías en usabilidad para Gobierno en línea. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Recuperado en: http://estrategia.gobiernoenlinea.gov.co/623/articles-8237_guia_usabilidad.pdf
- Ferreira Szpiniak, A. & Sanz, C. V. (2007). Hacia un modelo de evaluación de entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje. En: *XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*. Recuperado en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/14184>
- Ferreira Szpiniak, A. & Sanz, C. V. (2013). Diseño de un modelo de evaluación de entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje basado en la usabilidad. Tesis de maestría. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata. Recuperado en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27128>
- Gonzalez M. P., Lorés J. & Pascual A. (2006). Evaluación heurística. Universitat de Lleida. <http://griho.udl.es/ipo/pdf/15-Evaluacion-Heuristica.pdf>
- Guenaga, M. L., Burger, D., & Oliver, J. (2004). *Accessibility for e-learning environments*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- ISO/IEC 9241-11:2018. (2018). Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts. Recuperada en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241-11:ed-2:v1:en>
- ISO/IEC 25010:2011. (2011). Systems and software engineering -Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)- System and software quality models. Recuperada en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:25010:ed-1:v1:en>
- ISO/IEC 25000:2014. (2014). Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- Guide to SQuaRE. Recuperada en: <https://www.iso.org/standard/64764.html>
- ISO / IEC 14598-6:2001 (2001). Ingeniería de software - Evaluación de productos - Parte 6: Documentación de módulos de evaluación. Recuperada en: <https://www.iso.org/standard/24907.html>
- ISO/IEC JTC 1:2014. (2014). Tecnología Información. Recuperadas en: <https://www.iso.org/committee/45020.html>
- Kakasevski, G., Mihajlov, M., Arsenovski, S., & Chungurski, S. (2008, June). Evaluating usability in learning management system Moodle. En: *Information Technology Interfaces, 2008*. ITI 2008. 30th International Conference on (pp. 613-618). IEEE.
- Krug, S. (2006). *No me hagas pensar. Una aproximación a la usabilidad en la Web*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Mor, E., Domingo, M. G., & Galofré, M. (2007, September). Diseño centrado en el usuario en entornos virtuales de aprendizaje, de la usabilidad a la experiencia.
- del estudiante. Recuperado en: <https://pdfs.semanticscholar.org/66cd/e191a5505adb94879afe90bfecf8f4968699.pdf>
- Olsina, L. (1999). Metodología cuantitativa para la evaluación y comparación de la calidad de sitios web. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Olsina, L. Métricas, criterios yestrategias para evaluar calidad web. En: *Jornadas de Actualización en Informática de la Facultad de Ingeniería, JAIFI'02*. Recuperado en: http://www.sel.unsl.edu.ar/ApuntesMaes/Anteriores/CursoOlsina/Transparencias/Olsina_SanLuis_Metrics_Final.pdf
- Olsina, L., Bertoa, F., Lafuente, G., Martín, M., Katrib, M. & Vallecillo, A. (2002). Un marco conceptual para la definición y explotación de métricas de calidad. En *actas de Jornadas de Ingeniería de Software y Bases de Datos (JISBD'02)*, Madrid, España, noviembre. 2002.
- Olsina, L., Lafuente, G. & Rossi, G. (2001). Specifying Quality Characteristic and Attributes for Web Sites. En: S. Murugesan y Y. Deshpande (Eds): *Web Engineering. Managing Diversity and Complexity of Web Application Development Notes in Computer Science*. New York: Springer Verlag.
- Paz Espinosa, F. (2013), Heurísticas de usabilidad para sitios web transaccionales.
- Tesis para optar al título de Magíster en Informática con mención en Ingeniería de Software. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

PROTOTIPO DE UN OBJETO DE APRENDIZAJE EN REALIDAD AUMENTADA PARA AMBIENTES EDUCATIVOS Y COLABORATIVOS

PROTOTYPE OF A LEARNING OBJECT IN AUGMENTED REALITY FOR EDUCATIONAL AND COLLABORATIVE ENVIRONMENTS



Miguel Ángel López Cacho

Teleinformática, Servicio Nacional de Aprendizaje - Sena, Bogotá D. C., Colombia.

Recibido: 07/10/2017 • Aprobado: 25/11/2017

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo conocer las implicaciones que podría tener la implementación de un prototipo de Objeto de Aprendizaje con realidad aumentada para ambientes educativos y colaborativos, para el área específica de la geometría descriptiva. Se ha implementado la investigación exploratoria basada en la revisión bibliográfica de expertos sobre objetos de aprendizaje con realidad aumentada, en procesos de formación virtual, basados en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), en la cual se proponen indicadores como base para la aplicación de la metodología. Se ha construido una encuesta online a ochenta y cuatro (84) estudiantes de la UNAD, cuyos resultados permitieron afirmar que las implicaciones son positivas para los procesos de formación virtual, y, que puede ser replicada para cualquier otra asignatura.

Palabras clave: *ambientes colaborativos, ambientes educativos, objeto de aprendizaje, realidad aumentada.*

ABSTRACT

The present investigation has as objective to know the implications that could have the Implementation of a prototype of Learning Object with augmented reality, for educational and collaborative environments in the specific area of descriptive geometry. Exploratory research has been implemented, based on the bibliographic review of experts on learning objects with augmented reality in virtual training processes, based on Information and Communication Technologies (ICT), in which indicators are proposed, as basis for application of the methodology. An on-line survey was applied to eighty-four (84) students of the UNAD, whose results allowed to affirm that implications are positive for the virtual training processes and that it can be replicated for any other subject.

Key words: *augmented reality, collaborative environments, educational environments, object of learning.*

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han permitido desarrollar nuevas herramientas que buscan facilitar procesos de enseñanza - aprendizaje en el ámbito de la educación, cualquiera que sea su disciplina o modalidad de formación.

Por eso, ha sido necesario darle otro enfoque a la educación mediada por plataformas virtuales; en los escenarios educativos, hablar de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), se ha vuelto corriente para cualquier aprendiz que interactúa con información en los diversos enfoques y metodologías del aprendizaje. Pero, hablar específicamente de Objetos Aprendizaje (OA) en realidad aumentada es sorprendente, e incluso traslada la inspiración mental de quien lo escucha, hacia el dinamismo, lo abstracto y lo surreal que generará el ansia y el interés por ser utilizado.

Gracias a la información obtenida de la UNAD, en el desarrollo del instrumento estadístico “encuesta” y su análisis, se ha logrado plantear la propuesta de construcción de un prototipo Objeto de Aprendizaje con realidad aumentada direccionada a procesos de enseñanza - aprendizaje en la formación virtual; supliendo las necesidades del contexto académico, generando un conocimiento real y coherente a los requerimientos del entorno académico y la sociedad de red (Salinas, 2013).

El aporte del proyecto a la generación de nuevos conocimientos consistió en entregar a los estudiantes y profesores un recurso tecnopedagógico (OA), clave para el desarrollo de la asignatura de geometría descriptiva en un tema como el sistema diédrico para la formación virtual, lo que dará respuesta no solo a las competencias académicas, sino también a los estándares digitales de la sociedad de red (Sánchez, 2003) y a su formación integral.

La enseñanza de la geometría enfrenta serios problemas a nivel mundial, éstos constituyen un reto para los educadores que creen que la geometría puede contribuir en la sociedad actual del conocimiento,

aun reconociendo que se deban cambiar algunas de las actuales prácticas docentes implementadas por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

Debido a lo anterior, los elementos, procesos y mecanismos, lograrán contextualizar la esencia de un OA con realidad aumentada, con cambios metodológicos en los entornos virtuales de aprendizaje, los cuales, con gran firmeza, dan respuesta a las implicaciones que podría tener la asignatura de geometría transversalizada con TIC en la formación para la parte académica bajo un ambiente virtual.

En éste artículo se mostrará la descripción de la experiencia, el método implementado, los resultados alcanzados y por supuesto las conclusiones y recomendaciones sobre la investigación.

2. ESTADO DEL ARTE

En éste tipo de propuestas, son evidentes los estudios e intencionalidades de investigadores, cuyo fin esencial es mejorar procesos de enseñanza aprendizaje y facilitar los procesos de aprendizaje desde la flexibilidad curricular; ...“Un número considerable de docentes refleja las TIC en los documentos de trabajo para los estudiantes o en las programaciones didácticas, hecho de gran importancia para propiciar un diseño adecuado de las actividades relativas a las TIC con los elementos del pensum, adaptadas a su vez, a las características de los estudiantes” (López, 2010), situación que es coherente desde su perspectiva, pero divergente desde la ejecución virtual y no logra impactar en la usabilidad de los recursos o técnicas frente a los procesos de enseñanza aprendizaje.

Iniciando la investigación, desde algunas instituciones de educación superior (IES) en Colombia como la Universidad de Córdoba, desde la Facultad de Educación y Ciencias Humanas, en su proyecto denominado Objeto virtual de aprendizaje para la enseñanza

de la química del carbono, soportado en dispositivos móviles y realidad aumentada por sus autores (Ramos, toscano, Vidal & Galván, (2013, 1), sustentan la importancia de “implementar un objeto virtual de aprendizaje como motor principal para solucionar la necesidad educativa en el área de química, generando por medio de este, ‘Motivación’ hacia el conocimiento en el personal estudiantil, a través de la interacción de usuario-máquina, soportado por una tecnología denominada ‘Realidad Aumentada’, cuyos resultados fueron destacados por la creación de un prototipo de software del proyecto MODOVAR, ofrece elementos de interacción usuario-máquina, para el desarrollo de procesos educativos que facilitan la enseñanza y aprendizaje de contenidos de área por medio de estímulo” Por consiguiente, la estrategia MODOVAR “se soporta en principios de aprendizaje colaborativo, en el cual los educandos realizan sus aportes del tema tratado, formulan inquietudes, es un conjunto que busca hacer que el aprendizaje sea más agradable para ellos (era digital), un aprendizaje que no solo está en el texto, sino que también en todo entorno interactivo de construcción de conocimiento” (Ramos, Toscano, Vidal & Galván, 2013, 14).

Por otra parte, Verónica del Rocío Mendoza Morán de la Universidad Politécnica de Madrid (Facultad de Informática), destacó su interés en los sistemas de aprendizaje colaborativo móvil en realidad aumentada. La realidad aumentada (RA), aplicada a la educación, ayuda a comprender temas abstractos que necesitan de una amplia imaginación para entenderlos, utilizando RA como una herramienta en el proceso de enseñanza aprendizaje: “Las aplicaciones colaborativas con realidad aumentada ofrecen a los estudiantes, el aprendizaje de nuevos temas mientras se comparte información con los demás integrantes del equipo. La intervención de los integrantes abordando el tema con ideas o explicaciones da la posibilidad de lograr en el equipo un mejor nivel cognitivo que trabajando individualmente” (Mendoza, 2014, 93).

Finalmente, se hace evidente que el OA en RA se convierte en la herramienta más apetecida por los aprendientes, en razón a que les facilita en forma dinámica,

lúdica y creativa el aprendizaje de nuevos contenidos, generando en sí un aprendizaje significativo. Por esta razón, implementar el prototipo de un Objeto de Aprendizaje con realidad aumentada para ambientes educativos y colaborativos, que entregue contenidos instruccionales, recursos didácticos, metodologías de enseñanza - aprendizaje y aprendizajes prácticos, integrando la comunicación y la interacción en ambientes colaborativos para las ciencias básicas, específicamente en geometría es disruptivo para cualquier escenario y modalidad de aprendizaje (González, 2015, 75-76).

3. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En esta primera fase de la investigación, se aplicó la metodología cuantitativa, ya que se buscaba “cuantificar y aportar evidencia a una teoría que se tiene para explicar algo (...)” (Gómez, 2006, 61). Utilizando el proceso de investigación exploratoria, basada en la revisión bibliográfica de experiencias en la aplicación de objetos virtuales con realidad aumentada en los procesos de formación basados en las TIC sobre la formación virtual, con base en la cual se estableció la construcción de una encuesta en línea aplicada, con un diseño de campo no experimental, transversal y correlacional, en una muestra de 84 estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas de primer semestre de la sede José Acevedo y Gómez de la UNAD - Bogotá.

La investigación es de tipo transversal y correlacional, ya que los datos fueron recabados en un sólo momento histórico, los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis y de este modo se identificó y describieron las variables (Hernández et al., 1998), es decir, se alcanzaron los resultados producto de la recolección de los datos en un sólo momento.

La variable independiente es la construcción de un prototipo de OA en RA para ambientes educativos y colaborativos en la modalidad virtual de la Unad, dirigido a la sede José Acevedo y Gómez, en la cual no se ha llevado a cabo en ningún momento una implementación de este tipo para llevar a cabo el estudio.

Para esta investigación se decidió crear un instrumento propio de medición, como es el cuestionario (encuesta), para conocer el comportamiento de la variable de estudio, siendo esta la construcción de un prototipo de OA en RA para ambientes educativos y colaborativos en modalidad virtual.

Por otra parte, se llevó a cabo un par de reuniones con profesores del área de ciencias básicas para la contextualización y planteamiento de la investigación, situación que tuvo gran acogida y apoyo; reflejaron gran afinidad con la necesidad de implementación de Objetos de Aprendizaje en los ambientes virtuales.

Finalmente, se lleva a cabo la estructuración y clasificación de elementos y recursos didácticos con implementación de las TIC incorporados para el prototipo del OA con RA.

4. RESULTADOS ALCANZADOS

Para esta investigación se decidió crear un instrumento propio de medición, como es el formulario (encuesta de la herramienta Google Drive) para conocer el comportamiento de la variable de estudio “El diseño e implementación de un prototipo de OA en realidad aumentada para ambientes educativos y colaborativos”.

La población o universo objeto de observación y de estudio, son los estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas de primer semestre de la sede José Acevedo y Gómez de la UNAD – Bogotá, se logró tomar como muestra de estudio 84 estudiantes.

La variable que se mide en éste estudio es la implementación de un prototipo de OA en realidad aumentada para ambientes educativos y colaborativos, analizada desde los aspectos de las TIC y las metodologías para la modalidad virtual, desglosados en la Tabla 1.

TABLA 1

Composición de la encuesta en los ítems

Aspecto	Numeral
Manejo Computador	1-2-5-6-9
Ova	3-10-12-16
Realidad Aumentada	4-14-15
Geometría	7-8-11-13
Trabajo Colaborativo	16-17-18

Fuente: elaboración propia

A continuación, se describe la interpretación de los aspectos más relevantes de acuerdo a los resultados obtenidos de la encuesta:

El 40,5 % considera que el aprendizaje de la geometría puede ser dinámico y de mayor transferencia a partir del uso de OVAS en realidad aumentada. El 90,5 % si estaría dispuesto a utilizar una aplicación que le permita aprender geometría visualizando objetos virtuales con realidad aumentada. El 57,1 % considera que la realidad aumentada ofrece excelentes posibilidades educativas para favorecer los procesos de enseñanza-aprendizaje. Así mismo, el 63,1 % no conoce actividades académicas colaborativas bajo el uso de un Objeto de Aprendizaje. De la misma manera el 63,1 % no ha desarrollado actividades académicas colaborativamente con el uso de un Objeto de Aprendizaje y para el 69 % no ha desarrollado tareas del área de geometría colaborativamente bajo el uso de un Objeto de Aprendizaje.

Se genera un objeto virtual de aprendizaje con realidad aumentada el cual interactúa con los estudiantes a través de dispositivos móviles como el celular, generando muchas posibilidades de interacción y facilidad en el aprendizaje de los estudiantes.

Después de implementar la OVA GeoDesAR, se procedió al uso de la herramienta Google Drive para la aplicación de los instrumentos de levantamiento de datos para la encuesta de impacto.

Asimismo, se procede al uso de la técnica visualización de datos, donde permite el análisis de la información en forma rápida y simplificada expuesta en la Tabla 2.

TABLA 2
Tabulación datos encuesta de impacto

Pregunta	Respuesta	Cantidad	%
1. ¿Le resultó fácil la navegación por el Objeto Virtual de Aprendizaje?	Si	25	57 %
	No	21	43 %
2. ¿Cómo le pareció el diseño de la interfaz gráfica del Objeto Virtual de Aprendizaje?	Excelente	15	26 %
	Bueno	25	61 %
	Regular	4	9 %
	Malo	2	4 %
3. ¿El Objeto Virtual de Aprendizaje tiene una organización clara y ordenada del material de estudio?	Si	42	92 %
	No	4	8 %
4. ¿Cómo considera el material de aprendizaje del Objeto Virtual de Aprendizaje?	Excelente	10	22 %
	Bueno	28	61 %
	Regular	6	13 %
	Malo	2	4 %
5. ¿Considera que este Objeto Virtual de Aprendizaje contiene la información suficiente sobre el tema?	Si	44	96 %
	No	2	4 %
6. Se sintió motivado(a) al utilizar este Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) con realidad aumentada (RA).	Si	24	52 %
	No	22	48 %
7. ¿Le gustaría seguir utilizando Objetos Virtuales de Aprendizaje con Realidad Aumentada para el área de geometría descriptiva y otras áreas?	Si	44	96 %
	No	2	4 %

Fuente: elaboración propia.

Con esta experiencia se evidencia, que, con la puesta en marcha del proyecto de investigación, se logró que los estudiantes accedan e interactúen con los elementos del objeto virtual de aprendizaje con realidad aumentada, así se aprovechó la tecnología móvil de los propios estudiantes, lo cual fue significativo en la mediación del aprendizaje. Además, los estudiantes demostraron una actitud abierta con el aprendizaje de nuevos contenidos y la realización de las actividades propuestas, lo cual facilitó en buena forma los procesos de enseñanza aprendizaje.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como gran conclusión del estudio, es evidente que hay una alta opinión generalizada sobre la usabilidad de una aplicación, que le permite aprender geometría visualizando objetos virtuales con realidad aumentada; esto, entrelazado con el uso de las TIC y las técnicas didácticas activas en los procesos de formación.

Así mismo, se ha detectado la necesidad de revisar los contenidos de la formación en su transversalidad para que logren dinamizar los procesos de enseñanza aprendizaje y ofrezcan tendencias de aprendizaje

autónomo, especialmente en la implementación de técnicas didácticas activas en las TIC.

Para la mayoría de estudiantes y profesores de la institución, se deben aprovechar mucho más las herramientas tecnológicas en la formación virtual, bajo la estructura de guías académicas de aprendizaje, situación que los involucraría mediante la capacitación constante en el conocimiento, aplicación y usabilidad y por ende se lograría mejorar en los resultados hacia el fortalecimiento de las competencias académicas.

No obstante, con el fin de contribuir a la transferencia de conocimiento y a la mejora de los procesos de formación sobre la modalidad virtual, se recomiendan tres aspectos fundamentales según los análisis obtenidos: el primero, por parte de los profesores, se debe conocer y comprender las técnicas didácticas que serán aplicadas en los procesos de enseñanza aprendizaje. Segundo, conocer y destacar las técnicas didácticas soportadas sobre las TIC que se encuentren en los escenarios virtuales, y, tercero, converger los aspectos metodológicos de los contenidos de las temáticas de la asignatura para que logren motivar los procesos de aprendizaje del estudiante impulsando a un conocimiento científico, así mismo se obtendrá con éxito la transferencia del saber, siendo indiferente el área de desempeño.

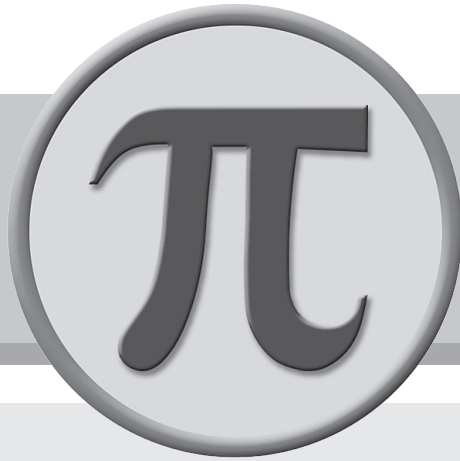
Este proyecto puede transformar la manera en que se comunican las personas con el mundo, y hacerlo más sostenible, debido a la capacidad de acceder a la información que nos proporciona la Realidad Aumentada, sin necesidad de utilizar un transporte físico, mejorando la eficiencia energética, y aumentando la coherencia ecológica de la generación, la distribución y el consumo de energía.

Finalmente, ésta investigación indica que los elementos relacionados con las TIC y la implementación

de OA para la modalidad virtual, parten de la estructuración y clasificación de elementos y recursos didácticos, con implemento de las TIC, el diseño del contenido implementando las TIC, guías de trabajo de formación pedagógica y didáctica para el cuerpo docente de la formación virtual y el seguimiento de usabilidad de los OA en la virtualidad, que logren fortalecer los procesos declarativos del saber, el conocimiento científico y tecnológico, generando profesionales integrales y mejorando la calidad académica en la educación.

REFERENCIAS

- Gómez, A. (2006). La investigación educativa: claves teóricas. Recuperado en: <http://booktype-demo.sourcefabric.org/analisis-libro-de-investigacion/resumen/>
- González Amigo, S. (2015). SARP: Plataforma de aplicaciones de Realidad Aumentada en colaboración con Objetos Inteligentes. Recuperado de <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/33884>
- Mendoza Morán, V. (2014). Sistemas de aprendizaje colaborativo móvil en realidad aumentada. Máster universitario en software y sistemas. Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado en: http://oa.upm.es/32286/1/TM_VE-RONICA_MENDOZA.pdf
- Ramos Geliz, F., Toscano Ricardo, A., Vidal, C. R. & Galván Lozano, E. E. (2013). Objeto virtual de aprendizaje para la enseñanza de la química del carbono soportado en dispositivos móviles y realidad aumentada. Recuperado en: https://www.qtooffice.com/ckfinder/userfiles/files/3578/3578_ar.pdf
- Sáez López, J. M. (2010). Utilización de las TIC en el proceso de enseñanza aprendizaje, valorando la incidencia real de las tecnologías en la práctica docente. *Revista Docencia e Investigación*, 20, 183 - 202.
- Salinas, J. (2013). *Modelo de diseño curricular*. Bogotá: UOC.
- Sánchez, J. H. (2003). Integración curricular de TICs. Concepto y modelos. *Revista Enfoques Educativos*, 5(1), 01-15. Recuperado en: http://www.facso.uchile.cl/publicaciones/enfoques/07/Sanchez_IntegracionCurricularTICs.pdf



RETOS Y TENDENCIAS ACTUALES EN LA LOGÍSTICA INVERSA CON ENFOQUE EN INGENIERÍA INDUSTRIAL.

CHALLENGES AND CURRENT TRENDS IN REVERSE LOGISTICS WITH A FOCUS ON INDUSTRIAL ENGINEERING.

Gustavo A. Araque¹, Martha C. Ospina², Lyda Vega³, Gabriel Rivera⁴

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Abierta y Distancia Unad. Medellín, Colombia.

Recibido: 30/10/2017 • Aprobado: 25/11/2017

RESUMEN

Los servicios logísticos prestados en el sector industrial, a nivel nacional e internacional, han presentado un balance positivo y relevancia en el dinamismo del sector productivo. Prueba de ello es el creciente comportamiento de la globalización y las alianzas estratégicas comerciales con países del Medio Oriente, Europa y América del Norte. Como resultado de lo anterior, la vida útil de los productos ofrecidos a los clientes ha disminuido, en búsqueda de mantener e incrementar el dinamismo comercial y la demanda de productos en el mercado. En el presente artículo se presenta una investigación descriptiva, resaltando los principales fenómenos que han llevado al nacimiento de la logística inversa (o logística reversa) y su relación con la obsolescencia programada en la mitigación de la generación de materiales descartables, a partir de cuatro momentos: cálculo de los fenómenos de logística reversa y el control de la comercialización de productos fuera de uso (PFU), en el cual se resaltan algunos modelos matemáticos organizacionales como estrategia en el control de residuos; reutilización de productos, con la implementación de procesos asociados en un caso de estudio a nivel organizacional, logrando un reaprovechamiento que oscila entre el 80 % y 95 %; modelo de logística reversa en el sector de alimentos; procesos de calidad sostenibles, resaltando su importancia a partir de estrategias, tipologías, características y ventajas en el uso de los mismos. Los resultados en la presente investigación permiten indagar y analizar la tendencia de los modelos logísticos actuales y las tendencias que demarca el mercado industrial en el cual operan en el futuro.

Palabras clave: *logística inversa/reversa, modelo matemático Forward, obsolescencia programada, procesos de calidad sostenibles.*

¹ gustavo.araque@unad.edu.co, orcid.org/0000-0001-8627-8924

² martha.ospina@unad.edu.co, orcid.org/0000-0001-9911-7556

³ lyda.vega@unad.edu.co, orcid.org/0000-0002-1517-560X

⁴ jaime.rivera@unad.edu.co, orcid.org/0000-0001-5317-9313

ABSTRACT

The logistic services provided in the industrial sector at national and international level, have presented a positive balance and relevance in the dynamism of the productive sector. Proof of this, is the growing behavior of globalization and strategic business alliances with countries in the Middle East, Europe and North America. As result of the above, the useful life of the products offered to customers has decreased, in search of maintaining and increasing the commercial dynamism and demand for products in the market. In the present article a descriptive investigation is presented, highlighting the main phenomena that have led to the birth of reverse logistics and its relationship with programmed obsolescence in the mitigation of the generation of disposable materials, from four moments: calculation of phenomena of reverse logistics and the control of commercialization of products out of use (PFU'S), in which some organizational mathematical models are highlighted as a strategy in the control of waste; reuse of products, with implementation of associated processes in a case study at the organizational level, achieving a reutilization that ranges between 80 % and 95 %; reverse logistics model in the food sector; sustainable quality processes, highlighting their importance based on strategies, typologies, characteristics and advantages in their use. The results in the present investigation allow us to investigate and analyze the trend of the current logistic models and the trends that demarcate the industrial market in which they will operate in the future.

Key words: forward mathematical model, programmed obsolescence, reverse logistics, sustainable quality processes.



1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la población, al igual que los productos que se deben adquirir para el consumo y satisfacción de diferentes necesidades, han generado grandes retos en la ingeniería, al buscar medios de reutilización de los desechos una vez han cumplido la vida útil los productos que fueron adquiridos. La obsolescencia se define como la necesidad de adquirir un nuevo producto, una vez el actual ya ha cumplido sus horas de funcionamiento. El uso indiscriminado de productos y el remplazo de los mismos una vez tengan alguna falla, han generado la posibilidad de ser desechados en lugar de buscar la opción de repararlos, por lo que generan un alto impacto ambiental, el cual está siendo mitigado por organismos internacionales mediante el pacto mundial y la inclusión de las empresas con el desarrollo de objetivos sostenibles (ODS). Un ejemplo significativo de esta problemática, son los retos que deben asumir las empresas que trabajan con aparatos eléctricos y electrónicos al hacer frente a la recuperación de los mismos.

El mundo va evolucionando, mostrando como debido a muchas de las decisiones del ser humano es necesario implementar algunas estrategias que permitan dar respuesta de manera efectiva a las necesidades humanas; es así como a través de la logística inversa se puede acrecentar el desarrollo sostenible y también permitiendo el crecimiento empresarial dando respuestas efectivas a las políticas ambientales y a la globalización.

De acuerdo a las necesidades ambientales globales, científicos a nivel mundial han desarrollado planteamientos de modelos de logística reversa con miras a la adecuada recolección, tratamiento y disposición final de los residuos generados en las diferentes actividades económicas. A partir de lo anterior, profesionales del área ingenieril y matemática diseñan modelos estratégicos organizacionales en la búsqueda de predecir el comportamiento de descarte generado por las diferentes industrias y así plantear soluciones de impacto como solución de dicha problemática. El presente artículo presenta el modelo Forward expuesto por

(Vrijens et al., 2017) y el modelo de gestión de reutilización de (Camargo, 2017) y (Valencia, 2014) en el sector industrial aplicado al sector mecánico. Finalmente, (Medina, 2016) establece un modelo logístico reverso integral que aborda todo un sistema integrado de logística reversa en el sector alimenticio.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, en el presente artículo se presenta una investigación descriptiva enfocada en el desarrollo metodológico de aspectos de logística reversa y sus aplicaciones en diferentes áreas industriales. Es aquí donde el ingeniero industrial debe plantear las estrategias futuras de eficiencia y control operacional de los procesos productivos, a partir de sistemas de gestión de calidad y productividad, en áreas específicas como la logística inversa en búsqueda de métodos de optimización. La logística inversa es utilizada en su desarrollo cuantitativo a partir de modelos matemáticos y proceso metodológico, fundamentado en las temáticas de reutilización y reaprovechamiento de productos fuera de uso, acompañados de técnicas de calidad en busca de procesos sostenibles en la cadena de producción.

2. LOGÍSTICA REVERSA Y OBSOLESCENCIA PROGRAMADA

Actualmente uno de los mayores retos a los que se enfrenta la ingeniería, consiste en la recuperación del material que se desecha por los consumidores. Dado que cada vez que los productos son adquiridos por los usuarios, y, a su vez desechados después de la no utilización de los mismos, la función de la logística inversa juega un papel importante a la hora de apoyar en la solución a esta problemática que está repercutiendo a nivel mundial como lo es el uso indiscriminado de productos (Martí Frías, 2014). De acuerdo a diferentes estudios la obsolescencia se define como la necesidad de adquirir un nuevo producto, cuando el actual que se tiene ya ha cumplido sus horas de funcionamiento (Martí Frías, 2014), un ejemplo de esta es el caso de las bombillas que están programadas para cumplir con 1.000 horas de utilidad, pasado este tiempo, la

bombilla debe ser remplazada por una nueva (Dannoritzer, 2011).

Otro caso de obsolescencia se presenta cuando las tendencias sociales así lo establecen, como la compra incesante de productos tecnológicos impulsados por el cambio y la publicidad que incita a la compra mediante estrategias de consumo (Martí Frías, 2014). Cuando un producto es desechado se dice que su vida útil llegó a su fin, Previo a esta situación, la logística inversa se convierte entonces en una alternativa de reutilización antes de que los materiales sobrantes del producto se desechen en su totalidad, todo ello debido a que cada vez son más fuertes las políticas ambientales para la creación de entornos sostenibles, además de minimizar el impacto ambiental generado por el uso exagerado de materiales que escasean y cuya demanda sigue estando latente en el mercado.

2.1 Impacto ambiental y logística inversa

Una de las mayores iniciativas para mitigar el impacto ambiental generado por la industria, está dado por la Organización de las Naciones Unidas mediante el desarrollo del Pacto Mundial y la inclusión de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que empezaron a establecerse con vigor a partir de enero de 2016 (Naciones Unidas, 2016). Todo un plan estratégico a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, proyectado hasta el año 2030. Se espera que los ODS lleguen a la totalidad de las empresas a nivel mundial por medio de programas de capacitación y la puesta en marcha de acciones por parte de las empresas para mitigar el impacto ambiental producido por el uso exagerado de recursos y el abandono de productos en desuso para ser fácilmente reemplazados, todo esto mediante un ejercicio conjunto de la comunidad científica, sector privado, gobiernos, la ONU, entre otros (ONU, 2017).

Es a partir de esta problemática que surgen los interrogantes para los grandes empresarios, ¿Cómo mantener el equilibrio organizacional a partir del consumo limitado de productos? Se precisa que la innovación debe romper paradigmas para la creación de nuevos productos a partir de los ya existentes, es aquí

en donde entra el concepto de desarrollo sostenible el cual está definido por la Declaración de los Derechos Humanos como principios de Responsabilidad Social Empresarial y perfeccionado por la UN Global Compact como “el uso sabio de los recursos presentes para no comprometer los recursos del futuro” (Ruiz Malbarrez & Romero, 2011).

Internacionalmente son varias las organizaciones que están comprometidas con el Pacto Mundial. Estas empresas han adquirido el compromiso mediante tareas colaborativas de trabajar en beneficio del desarrollo sostenible, dado que los indicadores de la economía global apuntan al consumo creciente de ciertos productos, algunos de los cuales se tomarán como referencia en este artículo. La Figura 1, muestra el crecimiento (en porcentaje) del consumo de internet que promueve la adquisición de computadoras, de un periodo de ocho años en países de Latinoamérica y el Caribe (Martí Frías, 2014; Dinero, 2015).

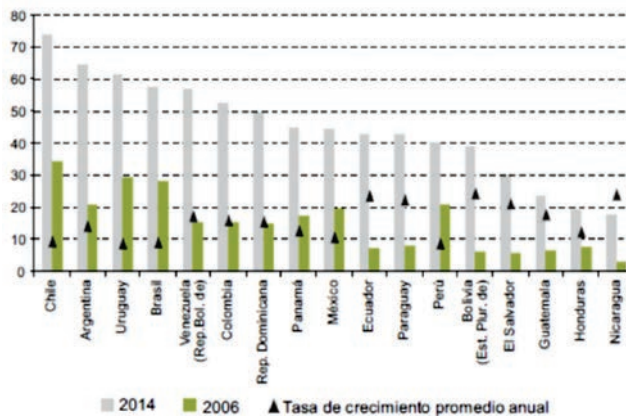


Fig. 1. América Latina y el Caribe: evolución en consumo de Tecnología (% total de Población) (Dinero, 2015).

De acuerdo con los resultados anteriores, se puede evidenciar la evolución de consumo de tecnología en países como Chile, Argentina y Uruguay, referencias a nivel sudamericano en estrategias de gestión operacional a nivel industrial. Es interesante el análisis realizado sobre un país como Brasil, de acuerdo a sus condiciones de crecimiento y expansión, en donde queda evidenciado el comportamiento económico del país y uno de sus panoramas se ve reflejado en la tasa de caída

de sus importaciones, a nivel de productos y servicios (Cepal, 2017).

Dada la creciente demanda de tecnología, como puede apreciarse en la Figura 2. (E-Commerce, 2017), representada en un incremento significativo del año 2012 hasta el 2018 en un 123 % para los millones de dólares obtenidos a través de las ventas en internet B2C, se presenta una relación de compra-consumo y esto a su vez genera como resultado los residuos generados de todas y cada una de las transacciones ejecutadas en internet. De acuerdo con lo anterior, es importante hacer frente a la recuperación de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). La logística inversa aplica técnicas de recuperación parcial o total de materiales, los cuales pueden retornar a la organización como materias primas para dar inicio nuevamente al ciclo productivo.

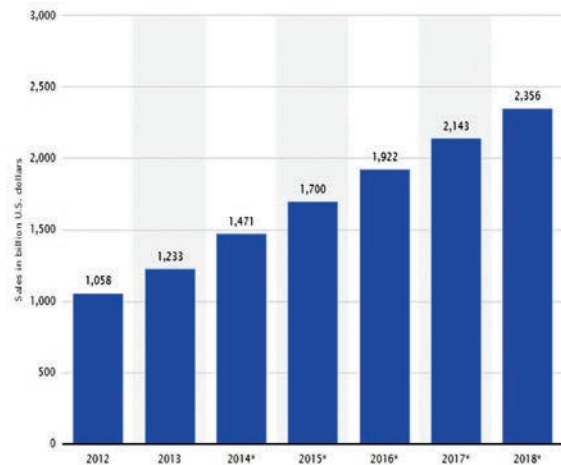


Fig. 2. Comercio electrónico mundial: ventas del segmento B2C (miles de millones de US\$) (E-Commerce, 2017).

Es fundamental, desde el punto de vista logístico, implementar estrategias de planificación al interior de las organizaciones, (Chopra, S. & Meindl, P., 2008). en donde se tome en cuenta este aspecto y la capacidad de poder recuperar los elementos que el consumidor final desecha. En la Figura 3, se ilustra de forma clara un ejemplo de modelo de gestión asociado a los procesos de logística reversa. Inicia su etapa desde el flujo de bienes para el procesamiento y obtención de productos terminados en la cadena productiva. Esta última etapa

es el inicio de la cadena logística reversa, en donde la materia prima se obtiene a partir de los residuos generados de este producto terminado y son devueltos en

la cadena por los procesos de recolección, inspección y separación, reprocesado, redistribución y finalmente la reutilización de los mismos.

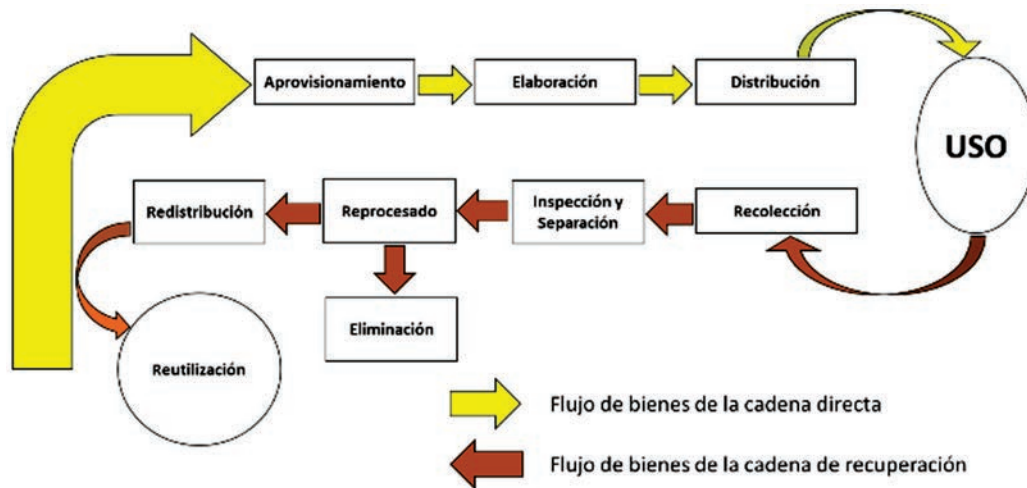


Fig. 3. Ejemplo de red de logística inversa (Martí Frías, 2014).

Las pequeñas y medianas empresas que deseen implementar la logística inversa al interior de sus organizaciones, deben tener claridad acerca de las estrategias de producción utilizadas en el sector manufacturero, garantizando que las mismas prioricen la competitividad de la empresa por medio de la minimización de costos de producción, calidad del servicio o producto, entregas oportunas (Du, 2008; Ruiz Malbarez & Romero, 2011). Además de lo anterior las estrategias deben estar orientadas a la minimización de los índices de contaminación, logrando con ello un impacto positivo en la organización (Fleischmann, 2001; Dinero, 2015; Gómez & Capera, 2016).

3. MODELOS ESTRATÉGICOS ORGANIZACIONALES EN LA PREDICCIÓN DE LA LOGÍSTICA INVERSA

De acuerdo con Gomes Salema, Barbosa-Povoa & (Novais, 2007) y (Freivalds, 2009), los procesos industriales propios de las organizaciones han despertado el interés de la comunidad científica en el auge de nuevos, e innovadores, casos de estudios aplicados

hacia el sector de la logística, como solución de la planificación, tratamiento y disposición final de los residuos, resultado de las actividades productivas. Este sector es conocido en la actualidad con el nombre de logística inversa.

La logística inversa, como mencionan (Pishvae, Faharani & Dullaert, 2010) y (Brito & Dekke, 2003), inicia su operación desde el usuario final, cuando el producto se transforma de un elemento de utilidad en un elemento de desecho. Y es en este último punto que los científicos trabajan en técnicas de gestión de optimización en búsqueda de modelos de gestión estratégica y organizacional para su correcta captación, flujo y disposición final (Oviedo et al., 2013).

De acuerdo con Oviedo et al. (2014), los modelos estratégicos de gestión logística se presentan como modelos cuantitativos que permiten analizar a mayor nivel de detalle el comportamiento y funcionamiento de los procesos operacionales de las empresas y obtener información eficaz y verídica en la toma de decisiones en relación a la predicción del funcionamiento de la red inversa logística en una organización.

Diferentes autores manifiestan su interés en el abordaje y resolución de este tipo de situaciones. Un primer ejemplo, en el abordaje de modelos cuantitativos organizacionales en la predicción del comportamiento logístico inverso, fue descrito por van Onzenoort et al. (2010) como el Modelo Forward, modelo cuyo fin es la no reutilización de Productos Fuera de Uso (PFU), en donde el autor basa su teoría en el planeamiento de un modelo de simulación y programación lineal entera binaria, que busca calcular como función objetivo el máximo número de productos comercializables en un periodo de tiempo determinado, considerando factores como el comportamiento de la demanda de bienes de consumo asociado a un modelo de gestión integral de inventario que se explicará posteriormente. La ecuación número 1 presenta una breve descripción del planteamiento de los autores:

$$S_t = \max(0, S'_{t-1} - F_{t-1} + Q_{t-LTFAB}) \quad (1)$$

Donde:

S'_{t-1} = Stock final de productos comercializables del periodo anterior
 F_{t-1} = Demanda Insatisfecha o faltantes
 Q_t = Tamaño del lote en el periodo t
 $LTFAB$ = Plazo de entrega o tiempo de suministro

El modelo matemático anteriormente descrito, sigue el siguiente orden metodológico de desarrollo y atiende el siguiente sistema de gestión de inventario: suponga una demanda D_t de acuerdo al comportamiento de consumo frecuente de una serie de clientes, escogidos de manera aleatoria, y sigue una distribución de probabilidad normal (Nachtmann, 2011). Se desea saber el nivel óptimo de productos comercializables para el periodo presente S_t . El planteamiento anterior obedece a una serie de restricciones, descritas a seguir: *demanda insatisfecha o faltantes*, situación en la cual el número de productos comercializables superen el número de productos en stock; *ventas del periodo*, conocida como la comercialización de los productos existentes que puedan satisfacer la necesidades de los clientes; caso

ocurra lo contrario, las ventas van a ser iguales a los productos almacenados; stock final de productos comercializables, referentes al número de unidades físicas en el almacén al final del periodo t ; considere una posición de inventario I_t , en donde se defina el nivel de inventario actual menos la demanda no satisfecha más los pedidos solicitados y pendientes a la fecha, en la ecuación 2:

$$I_t = S'_t - F_t + \sum_{i=t-LTFAB+1}^t Q_i \quad (2)$$

De acuerdo al planteamiento de la ecuación número 2, considere también el *tamaño de lote de productos originales* Q , siendo esta una constante a lo largo del periodo de planificación y una orden de inventario dentro del modelo será ejecutada cuando la posición de inventario del periodo anterior $I(t-1)$ sea inferior al punto de pedido S ; en el presente modelo considérese un plazo de entrega o tiempo de suministro $LTFAB$ como el periodo desde el tiempo de lanzamiento de la orden de fabricación hasta su llegada a lote para comercialización.

Un segundo abordaje de modelamiento estratégico, en la predicción de la logística inversa, es conocido como la *reutilización*. A partir de este tipo de planteamientos, de acuerdo con (Fleischmann, 1997), el producto conserva sus características originales propias, careciendo en poca medida del factor de descomposición de éste. Como consecuencia de lo anterior, el producto sigue una serie de procesos para su recuperación, como lo son las actividades de limpieza y mantenimiento del mismo, y finalmente ser utilizados por el consumidor final. (Camargo, 2017) y (Valencia, 2014) establecen un modelo estratégico de logística inversa para el sector de producción y comercialización de las llantas. Los autores manifiestan que el modelo obedece a un orden secuencial de la cadena logística inversa, expuesto en la Figura 4.

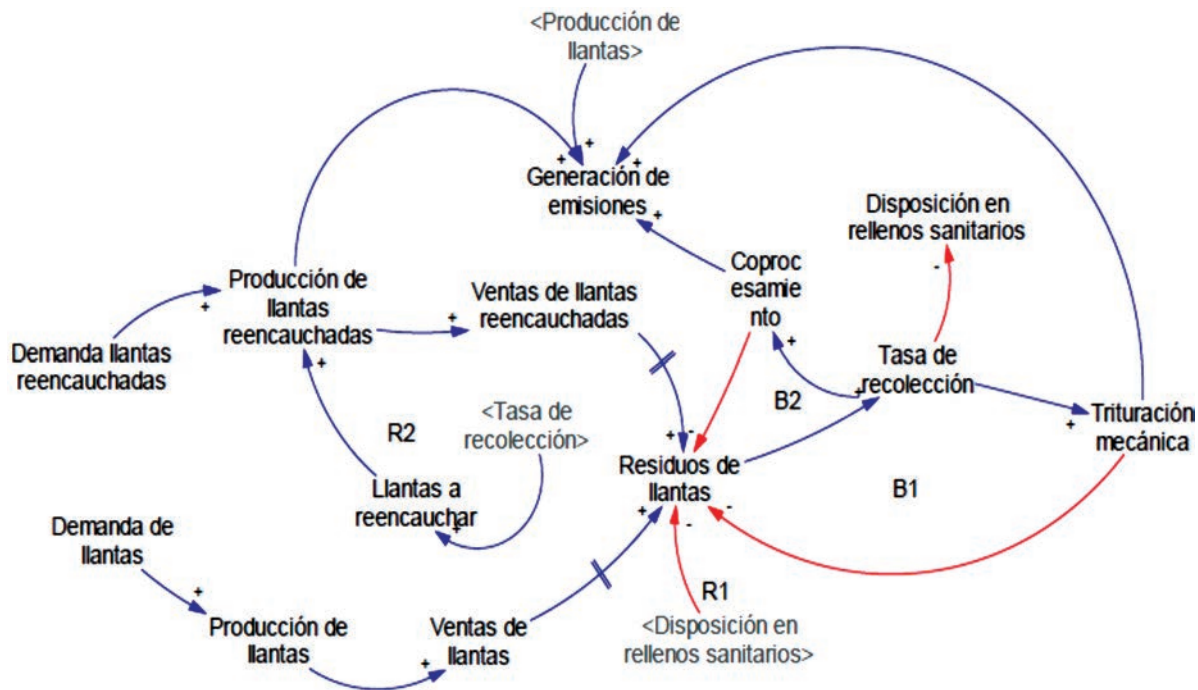


Fig. 4. Diagrama causal de la logística inversa de las llantas (Camargo, 2017).

De acuerdo a la ilustración, en el diagrama anterior, existen diversos causales que impulsan la gestión de la logística inversa de las llantas para su futura reutilización y uso posterior en actividades operacionales. Uno de los principales se presenta como el factor de reencache de llantas y, de acuerdo con (Gómez, 2011) y Corti & Lombardi (2004), éste es definido como el aprovechamiento del producto que oscila entre el 80-95 % de características originales y el procesamiento adicional para su utilización al 100 %, en donde se añaden componentes materiales de características similares en cuanto al original de fabricación para su recuperación. Como se observa en la figura, a partir de los residuos de llantas, existe una muestra poblacional responsable por la captación de estos materiales a reencauchar, los cuales retornan al proceso y finalmente entran al área de producción para ser recuperados. Como etapa de conclusión, este tipo de productos son

comercializados, dando apertura al ciclo logístico reverso una vez se presentan los descartables del mismo dentro de la cadena logística, en donde “el papel de la automatización y simulación de escenarios antes de su producción en físico juega un papel fundamental en la optimización de materiales, procesos industriales y liberación de energía en la ejecución del proceso” (Yao, 2011).

Un tercer abordaje en el modelamiento estratégico organizacional en la predicción de la logística reversa se encamina al modelo desarrollado por (Medina, 2016), (Chopra & Meindl, 2008) y (Castellanos, 2012), en la determinación de un diseño de logística reversa para una empresa del sector alimenticio. Este tipo de modelamiento involucra cuatro agentes principales, los cuales son presentados en la Figura 5.

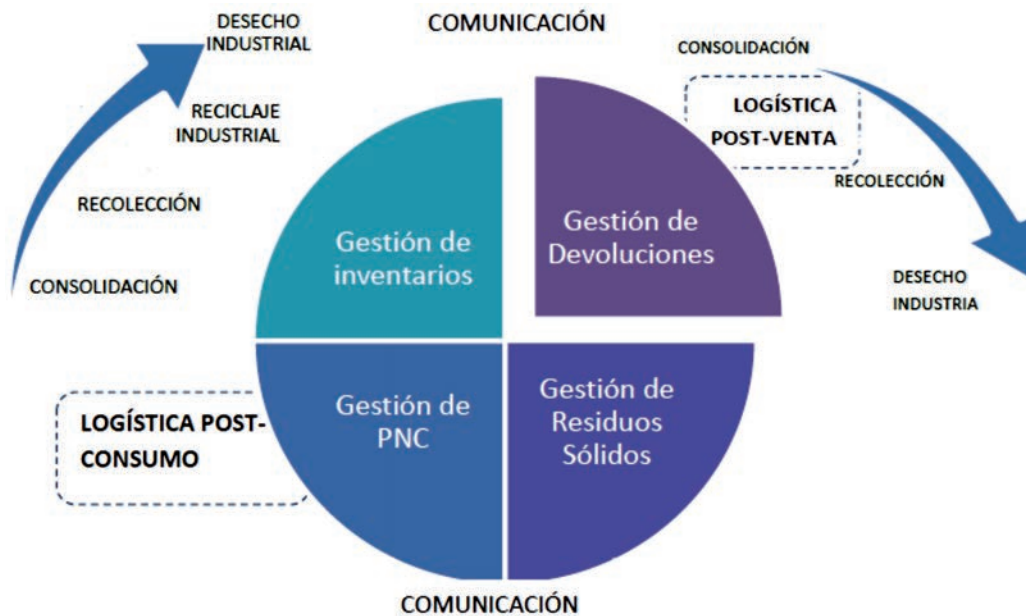


Fig. 5. Diagrama del modelo de logística inversa en una empresa del alimentos (Medina, 2016).

Como se puede ilustrar en la Figura número 5, la organización inicia su gestión logística inversa con el agente de gestión de inventarios, el cual busca como responsabilidad principal el brindar un acompañamiento de producto no conforme mediante rastreo a partir de sistemas RFID (sistemas de radiofrecuencia) en la consolidación, recolección, reciclaje y desecho industrial como factor de recuperación en la cadena de valor (Cruz, 2009). Un segundo agente es la gestión de devoluciones, el cual enfatiza su operación reversa en la creación de un modelo diseñado por (Medina, 2016) y apoyado conceptualmente en (Salas, 2014), que inicia con el registro de las quejas y reclamos de los clientes, seguido del atendimento de los funcionarios de la organización en Centros de Distribución (CEDIS) y el apoyo logístico de telemarketing para su correcta gestión. Una vez concluido lo anterior se presenta la recepción, clasificación, registro y tratamiento de los productos no conformes al interior de las instalaciones empresariales. El tercer agente hace referencia a la Gestión de Residuos Sólidos y, siguiendo los planteamientos expuestos por (Gómez, 2010), se realiza un tratamiento de materiales (cartón, plástico y madera) generados en las áreas de telemarketing y CEDIS, en donde la actuación de profesionales ambientales certificados se hace necesaria en la

etapa de recolección, transporte y disposición final. Para concluir, se presenta el agente de Gestión de Producto No Conforme (PNC), el cual es responsable por la consolidación, integración y buen funcionamiento de los agentes mencionados anteriormente. Su objetivo es controlar por medio de indicadores de desempeño (gestión de residuos, gestión de inventarios y gestión de devoluciones) el buen funcionamiento de los departamentos, midiendo por medio de herramientas cuantitativas los resultados en el horizonte de tiempo mensual, semestral y anual y realizar las respectivas propuestas de análisis y mejoramiento interno.

Como se puede evidenciar en el presente capítulo, son innumerables las metodologías de acción de las organizaciones en búsqueda de estrategias de gestión organizacional con foco en el aumento de la eficacia y la productividad al interior de los procesos productivos. La correcta elección del modelo estratégico de predicción de logística inversa estará enmarcada en las necesidades de solución ambiental, social, cultural y financiero a ser desarrollados por los empleados en sus áreas de trabajo y la correcta planeación estratégica definida por los líderes administrativos al inicio de sus proyectos de operación.

4. PROCESOS DE CALIDAD SOSTENIBLES

En la actualidad hay bastantes términos que reiterativamente se escuchan en la sociedad, pero que no han sido interiorizados por un gran porcentaje de la población; así como la importancia que en el diario vivir se requiere para poder apoyar el desarrollo sostenible que, según la ONU en la reunión de Alto nivel sobre la juventud en Nueva York, “Consta de tres pilares, tratando de lograr, de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente” (Naciones Unidas, 2011); es así como se ha incrementado la importancia de la aplicación de la logística de manera organizada y en los últimos tiempos de la logística inversa, permitiendo con ello apoyar económicamente a las empresas para así seguir siendo competitivas.

Por la importancia que este término tiene a nivel empresarial, son varias las definiciones que en la industria se tienen; pero específicamente según la RAE (Real Academia Española); la logística se define como el “Conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa o de un servicio, especialmente de distribución” (RAE, s.f.); y según el diccionario de Logística y SCM, se enuncia como “En un contexto industrial, es el arte y la ciencia de obtener producir y distribuir materiales y productos en el lugar apropiado y en cantidades requeridas” (Mora García, 2011) siendo hoy por hoy una de las principales áreas dentro de una organización permitiendo agilizar procesos, identificando fallas en los diferentes aspectos, planifica las diferentes actividades y contribuir al máximo con la rentabilidad de la compañía.

La agilidad con que en el diario vivir se está desarrollando el mundo, la globalización, las estrategias publicitarias, entre otras han permitido una constante variación de los gustos y/o preferencias de la sociedad, por tal motivo las empresas tienen que tener planes de contingencia identificando lo indispensable, que es darle un excelente manejo a todos los productos que por alguna razón no llenaron la

satisfacción del consumidor, es ahí donde cobra relevancia la logística inversa, que no es otra cosa que darle un manejo estratégico a todos aquellos empaques, embalajes, materiales, residuos que se deben reciclar o recuperar, para así evitar de manera reiterada problemáticas ambientales, más aún cuando existe bastante reglamentación al respecto.

En búsqueda de contribuir con el desarrollo sostenible en el mundo, se requiere aplicar en las empresas procesos de calidad en las que se produzcan en lo más mínimo efectos secundarios; aprovechando diversas estrategias, entre ellas están la logística inversa o la producción limpia, que generan alternativas según el Centro de Actividad Regional para el Consumo y la Producción Sostenible, lo que permite:

- “El ahorro de materias primas, agua y energía.
- La eliminación, reducción y/o sustitución de materias peligrosas.
- La reducción de cantidad y peligrosidad de los residuos y las emisiones contaminantes” (Regional Activity Centre for Sustainable Consumption and Production, s.f.).

Al analizar la incorporación de la logística inversa, se busca que en cualquier empresa que se dedica a producir masivamente, y genera excesos de materiales, se presenta materias primas desperdiciadas, se debe identificar como aprovechar cada uno de estos elementos para la producción de un nuevo producto, que minimize el impacto ambiental o quizá que permita que sean inapreciables los efectos de la contaminación, al revisar algunos de las alternativas como:

- **Reciclaje de envases y embalajes y residuos peligrosos:** según Expo residuos 2015 “Los residuos de Colombia tienen un potencial reciclable que oscila entre el 25 al 30 %, constituido por cartón, papel, metales, vidrio y plásticos”, entre los que son generados por envases que en su mayoría son generalmente plásticos o embalajes que contienen los productos que consumimos constantemente. La logística inversa se centraliza en su reciclaje, clasificación y, cuando es posible, reutilización en nuevos procesos o usos.

- **Retorno de exceso de inventario:** se debe hacer un análisis del manejo de los productos que por alguna razón no se han vendido, las empresas que emplean este modelo de logística inversa buscan la manera de lograr su devolución para que los proveedores, a su vez, les encuentren un nuevo uso, así mismo cuando se generan las devoluciones por defectos o sencillamente porque el cliente no quedó satisfecho.
- **Reciclaje de productos obsoletos o que caducan:** también el análisis se debe extender cuando un producto se queda obsoleto, bien sea por sus características materiales o porque su uso es exclusivo. Las empresas responsables no lo eliminarán sin más; al contrario, buscan la manera de reengancharlo a una nueva cadena productiva.

Algunas de las actividades que se hacen se deben aplicar constantemente, aunque aparentemente indican una alta inversión, no necesariamente es así, ya que tiene bastantes ventajas según lo expone la Fundación Vida Sostenible (Fundación Vida Sostenible, 2016) (Cure, Meza & Amaya, 2006):

- Permite conocer la legislación medioambiental y ayuda a su cumplimiento.
- Llevar un control eficiente de los recursos, consiguiendo un ahorro en el consumo de agua, energía y demás materias primas, mejorando la eficacia de los procesos productivos, y reduciendo la cantidad de residuos generados (Holling & Meffe, 1996).
- Reduce el riesgo de accidentes medioambientales,
- Permite tomar medidas correctoras en caso de fallos en el sistema,
- Mejora la calidad de los servicios prestados y eficacia en el desarrollo de sus actividades gracias a la definición y documentación de procedimientos e instrucciones de trabajo.
- El compromiso con el medio ambiente mejora la imagen ante la sociedad y los consumidores, además de motivar a los trabajadores.
- Sitúa a la empresa en un puesto ventajoso frente a competidores en el mercado,
- Fomenta la relación con la administración local, accediendo a ayudas y subvenciones públicas.

Todo esto permite que al estar al día en las normatividad ambiental vigente da un posicionamiento importante a nivel empresarial, pero hay que tener presente que también hay aspectos que no son tan favorables (Correa, Saldarriaga & Molina, 2009) (Casapia, Shalom y Merma, 2017) (Herz Saenz, 1991):

- Se requiere la realización de estudios previos para el establecimiento de políticas de decisión en el tema.
- No se trata sólo de una simple manipulación del producto.
- Todos los departamentos de la empresa están relacionados con las actividades que se pretendan implementar de logística inversa.
- Las entradas a un proceso de logística inversa son “impredecibles”.
- Las inspecciones deben ser realizadas en cada producto de norma individual y minuciosa.
- La nueva cadena (inversa) incluye un número de procesos inexistentes en logística directa.
- Se debe decidir si la empresa debe realizar las distintas actividades con sus propios recursos o si, por el contrario, requerirá los servicios de un operador especializado
- Las devoluciones en pequeñas cantidades tienden a representar mayores costos al integrarlos al sistema (Gómez Orea & Gómez Villarino, 2013).

De acuerdo con (López Fernández & Serrano Bedia, 2003), es indispensable aprovechar este tipo de estrategias en las empresas en todos los aspectos para poder ver poco a poco el beneficio, buscando utilizar criterios medioambientales en el diseño y en la distribución de los servicios, en el cambio de actitudes, reducir los productos que están por fuera de las especificaciones, aumentar la calidad de los productos.

La sostenibilidad del medio ambiente está en las manos de todos y cada uno de los seres humanos, es ahí donde se observa como a través de lo que cada persona hace en su diario vivir puede apoyar en el mejoramiento en este aspecto, y como a través de diversas estrategias las empresas tienen en sus manos la minimización del impacto ambiental a través del diseño, producción,

distribución y postventa de cada uno de los productos elaborados (Novo, 2013) (Nebel & Wrigth, 1999).

CONCLUSIONES

La logística inversa se está haciendo cada vez más visible dentro de las organizaciones. Busca hacer frente a la solución de problemas generados por el consumo indiscriminado de materiales que están agotando los recursos naturales, trata de incorporar paulatinamente políticas ambientales a nivel mundial para controlar y mitigar el impacto ambiental ocasionado por los desechos producidos por la obsolescencia de los productos. El gran reto es para la innovación de la reingeniería de los productos, en la que se aplique el desarrollo sostenible como responsabilidad social empresarial comprometido con el pacto mundial.

El ingeniero industrial, al interior de su rol profesional, debe analizar las diferentes alternativas de eficiencia para enfocar a la organización en procesos de mejora continua, siendo a partir de la productividad y competitividad. Para ello, deben también conocer las situaciones del entorno y aprovechar constantemente los recursos, manteniendo el desarrollo sostenible y atendiendo de manera acertada las necesidades de los clientes en el tiempo y con las condiciones solicitadas.

Los modelos estratégicos organizacionales utilizan el enfoque de predicción de la demanda, con el objetivo de calcular la cantidad de residuos sólidos generados al interior de las organizaciones como resultados de las actividades productivas. Los planteamientos cuantitativos, cualitativos y mixtos en la construcción de dicha estrategia permiten a las organizaciones y al ingeniero industrial planear los insumos necesarios para abordar las demandas de desechos al interior de las organizaciones a partir de actividades de modelación y simulación matemática acompañadas de estrategias administrativas empresariales.

REFERENCIAS

- Brito, D. & Dekker, R. (2003). Reverse Logistics: a framework. ERIM Report Series Reference No. ERS-2003-045-LIS. Recuperado en: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=423654>
- Camargo, S. Franco, J., Chud, V. & Osorio, J. C. (2017). Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 1-26.
- Casapia, M., Shalom, J. & Merma, L. (2017). Evaluación de la Concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable y Material Particulado (Pm2. 5, Pm10) Para la Gestión de la Calidad del Aire 2017 en la Ciudad de Tacna. Tesis de grado. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Castellanos, A. (2012). Diseño de un Sistema Logístico de Planificación de Inventarios para Aprovisionamiento de Empresas de Distribución del Sector de Productos de Consumo Masivo. Tesis de grado. El Salvador: Universidad Francisco Gavidia.
- Cepal (2017). Estudio económico de América Latina y el Caribe: La dinámica del ciclo económico actual y los desafíos de política para dinamizar la inversión y el crecimiento, Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Chopra, S. & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro : Estrategia, Planeación y Operación*. México: Pearson.
- Correa, M., Saldarriaga, J. & Molina, F. (2009). Material particulado, normatividad y realidad en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. *Memorias II Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública*. Bogotá: Uniandes.
- Corti, A. & Lombardi, L. (2004). End life tyres: Alternative final disposal processes compared by LCA. *Energy*, 22(2), 2009-2018.
- Cruz, A. (2009). Propuesta de aplicación de logística inversa para el mejoramiento del centro de distribución Puma Abarrotero. Tesis de ingeniería industrial. UPIICSA.
- Cure Vellojín, L. C., Meza González, J. C. & Amaya Mier, R. (2006). Logística Inversa: una herramienta de apoyo a la competitividad de las organizaciones. *Ingeniería y Desarrollo*, 20, 184-202. Recuperado en: <http://www.redalyc.org/html/852/85202013/>
- Dannoritzer, C. (2011). *Comprar, tirar, comprar - Obsolescencia programada*. Recuperado en: <https://www.youtube.com/watch?v=44G5T2tAJhc&t=174s>
- Dinero (2015). Los países de América Latina y el Caribe avanzan a velocidades distintas en economía digital. Recuperado en: <http://www.dinero.com/internacional/articulo/cobertura-internet-desarrollo-tecnologico-america-latina/212307>

- Du, F. & Evans, G. (2008). A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service. *Computers & Operations Research*, 35(8), 2617-2634.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. & van Wassenhove, L. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operations Management*, 10(2), 156-173.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J., Dekker, R. van der Laan, E. van Nunen, J. & van Wassenhove, L. (1997). Quantitative models for reverse logistics: a review. *European Journal of Operational Research*, 1(103), 1-13.
- Freivalds, A. & Niebel, B. (2009). *Ingeniería Industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Gomes Salema, M. I., Barbosa-Povoa, A. P. & Novais, A. (2007). An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1063-1077.
- Gómez, R. (2010). Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad. Corporación Universitaria Lasallista, 2(1), pp. 63-76.
- Gómez, R., 2011. Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad. *Producción + Limpia*, 5(2), 63-76.
- Gómez Orea, D. & Gómez Villarino, M. T. (2013). *Evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa Libros.
- Gómez Orozco, L. & Capera Urrego, A. I. (2016). Modelos de ensuciamiento en intercambiadores de calor tubulares en sistemas indirectos en procesos uht en la industria láctea. *Publicaciones e Investigación*, 10(1), 95-114.
- Herz Saenz, C. (1991). Normatividad e institucionalidad gubernamental en materia ambiental. *Forum Regional del Ambiente*, 1(Natura), 17-34.
- Holling, C. S. & Meffe, G. K. (1996). Command and control and the pathology of natural resource management. *Conservation biology*, 10(2), 328-337.
- López Fernández, M. C. & Serrano Bedia, A. M. (2003). El impacto de la implantación de un sistema de gestión medio ambiental en la estructura organizativa de la empresa: una aproximación desde ISO 14001. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 9(3) 147-158.
- Martí Frías, B. (2014). La Logística Inversa: gestión de RAEEs. Tesis de grado. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.
- Medina, G. N. (2016). Incremento de la productividad del área de logística de la empresa Omnilife del Ecuador s.a., mediante el desarrollo, implementación y validación de un modelo de gestión basado en logística reversa. Tesis de maestría en Ingeniería Industrial y Productividad (FIQA). Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Mora García, L. A. (2011). *Diccionario de Logística y SCM*. Recuperado en: http://www.fesc.edu.co/portal/archivos/e_libros/logistica/dic_logistica.pdf
- Nachtmann, H., Waller, M. & Rieseke, D. (2010). The impact of point-of-sale data inaccuracy and inventory record data errors. *Journal of Business Logistics*, 1(1), 149-158.
- Naciones Unidas (2011). Reunión de Alto Nivel sobre la juventud en Nueva York, Nueva York: United Nations.
- Naciones Unidas (2016). Innovation for sustainable development. Recuperado en: <https://www.unglobalcompact.org/search?utf8=%E2%9C%93&search%5Btype%5D=all&search%5Bkeywords%5D=políticas+ambientales+educación+para+el+desarrollo+sostenible>. *Revista de Educación*, 1(4), 195-217.
- ONU (2017). Pacto Mundial de las Naciones Unidas. Recuperado en: www.unglobalcompact.org
- Oviedo, S., Leiva, A., Díaz, D. & Forradellas, R. (2013). Dinámica de sistemas: modelado flexible en logística inversa. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 5(10), 84-98.
- Pishvaei, M. S., Farahani, R. Z. & Dullaert, W. (2010). A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. *Computers & Operations Research*, 37(6), 1100-1112.
- RAE (s.d.). Logístico, a. Recuperado en: <http://dle.rae.es/?id=NZJWMiV>
- Regional Activity Centre for Sustainable Consumption and Production (s.f.) Producción más limpia ¿qué es?. Recuperado en: <http://www.cprac.org/es/sostenible/produccion/mas-limpia>
- Ruiz Malbarez, M. y Romero, Z. (2011). La responsabilidad social empresarial y la obsolescencia programada. *Saber, Ciencia y Libertad*, 6(1), 127-135.
- Salas, D. F. (2014). Diseño de un modelo de gestión para las devoluciones de producto en la empresa Roche Ecuador S.A. basado en logística reversa. Tesis de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Statista (2017). B2C e-commerce sales worldwide from 2012 to 2018 (in billion U.S. dollars) Recuperado en: <https://www.statista.com/statistics/261245/b2c-e-commerce-sales-worldwide/>
- Valencia, M., Giraldo, J. & C. Osorio, C. (2014). Evaluación dinámica del impacto ambiental generado por la producción de envases tipo PET en un entorno de logística reversa. XII Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, 1(1), pp. 121-133.
- van Onzenoort, H. A., Verberk, W. J., Kroon, A. A., Kessels, A. G., Nelemans, P. J., van der Kuy, P. H., Neef, C. & de Leeuw, P. W. (2010). Effect of self-measurement of blood pressure on adherence to treatment in patients with mild-to-moderate hypertension. *Journal of hypertension*, 3(1), pp. 622-627.

Vida Sostenible (2016). Beneficios de implantar un SGA en la empresa. Recuperado en: <http://www.vidasostenible.org/informes/beneficios-de-implantar-un-sga-en-la-empresa/>

Vrijens, D., Berghmans, B., Nieman, F., van Os, J. van Koevringe, G. & Leue, C. (2017). Prevalence of anxiety and depressive symptoms and their association with pelvic floor

dysfunctions—A cross sectional cohort study at a Pelvic Care Centre. *Neurourology and Urodynamics*, 36(7), 1816-1823.

Yao, H., She, L., Tan, Y. & Hao, J. (2011). Simulating the impacts of policy scenarios on the sustainability performance of infrastructure projects. *Automation in Construction*, 20(3), 1060-1069.

ANÁLISIS DEL EXOSQUELETO PARA LA RECUPERACIÓN DEL DAÑO EN EL SISTEMA LOCOMOTOR A PARTIR DE UN SENSOR PARA LA EXTENSIÓN Y FLEXIÓN DEL BRAZO

ANALYSIS OF THE EXOSKELETON FOR THE RECOVERY OF THE DAMAGE IN THE LOCOMOTIVE SYSTEM FROM A SENSOR FOR THE EXTENSION AND FLEXION OF THE ARM



Nancy Edith Ochoa G.¹, Carlos Eduardo Mesa²

Corporación Universitaria Minuto de Dios. Universidad ECCI, Bogotá D.C., Colombia

Recibido: 12/11/2017 • Aprobado: 25/11/2017

RESUMEN

Se presentará un estado del arte de los exoesqueletos más relevantes a nivel mundial, y a partir de ello, se realizará un análisis del movimiento de la extremidad superior, enfocado en los movimientos del antebrazo y la muñeca, teniendo en cuenta los puntos y ángulos con sus grados de libertad para evaluar en la extensión y la flexión. Se dan a conocer los tipos de movimientos para los músculos distales y proximales, así como la función del ejercicio más adecuada para la recuperación de acuerdo con la señal de electromiografía (EMG) se define la mejor terapia, pasiva o activa, mediante un modelado cinético del movimiento en el tipo de terapia, a partir del modelo matemático JERK a través de las funciones de MATLAB.

Palabras clave: *dinámica, exoesqueleto, electromiografía, prototipos, sensores.*

ABSTRACT

A state of the art of the most relevant exoskeletons worldwide, will be presented, and from this, an analysis of the movement of the upper extremity will be performed, focusing on the movements of the forearm and the wrist, taking into account the points and angles with their Degrees of freedom to evaluate in extension and flexion. The types of movements for distal and proximal muscles are known, as well as the most appropriate function of exercise for recovery, according to the electromyography signal (EMG); there is defined the best therapy, passive or active, by means of a kinetic modeling of the movement in the type of therapy, from the mathematical model JERK through the MATLAB functions.

Key words: *dynamics, electromyography, exoskeleton, prototypes, sensors.*

¹ nochoagueva@uniminuto.edu.co, orcid.org/0000-0002-4533-4990

² carlos.mesa9586@eccci.edu.co, orcid.org/0000-0001-8068-3654

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, actualmente, hay desarrollos en forma de réplica de investigaciones adelantadas en el exterior, pero ningún tipo de innovación hacia los exoesqueletos de miembro superior para realizar rehabilitación neuromotora en el sistema locomotor de tren superior (Kwakkel, Kollen & Krebs, 2008). La recuperación de las extremidades superiores, en la mayoría de veces, es muy difícil y conlleva meses de tratamiento con una baja calidad en sus repeticiones ya que el paciente tiende a no realizar el esfuerzo completo y necesario (Hwang, Seong & Son, 2012).

A partir de un diseño distal y proximal que trabaja el brazo, los efectos con su aplicación sumada a la convencional, obtiene mejores resultados en la función motora de cada una de ellas de forma aislada (Takahashi et al., 2008; Gijbels, 2011), en los casos de recuperación de la región proximal del MS (Gijbels, 2011) se muestra mejoría gracias a la terapia robótica, la cual influye en codo y hombro (Hwang, Seong & Son, 2012; McGibbon et al., 2017); por otra parte, la región distal de la extremidad superior ha sido objeto de evaluación en ensayos clínicos (Ruiz Garate et al., 2017), demostrando cierta eficacia en la mejoría de la función de la mano, hechos que se mantienen al mes de finalizada la terapia (Orozco, 1999) o incluso a los 2 meses (Warlow et al., 2007).

La actividad física y el ejercicio son fundamentales para varios tratamientos de miembro superior (MS) distal y proximal, para ello es más factible un análisis de las modificaciones posibles de la biomecánica (Guo & Morris, 2017), aumentando el potencial de nuevos diseños en la implementación de nuevos exoesqueletos ampliados para contribuir a la posible mejoría de la biomecánica en los movimientos de esfuerzos en los grados de libertad (DOF) (Nichols-Larsen, 2005). La terapia de movimiento repetitivo ha demostrado reducir el deterioro en pacientes con accidente cerebrovascular crónico (Bütefisch et al., 1995; Hallett & Author, 2002).

Con el fin de tratar de aumentar las ganancias, dando a los pacientes más terapia repetitiva a menor costo, muchos grupos de investigación y las empresas están desarrollando dispositivos robóticos para ayudar en la rehabilitación de pacientes con accidente cerebrovascular crónico (Reinkensmeyer, Emken & Cramer, 2004).

Por lo cual se realiza el análisis de movimiento del miembro superior, enfocado en los movimientos de antebrazo y muñeca, definiendo los puntos y ángulos como sus grados de libertad a evaluar. Haciendo la utilización de mínimos de JERK utilizando el modelo de curvaturas. Definiendo los tipos de movimientos para los músculos distales y proximales, la función del ejercicio más adecuado para la recuperación, según la señal EMG, definiendo si es una terapia pasiva o activa.

Por medio de un modelamiento cinemático (Waldron & Kinzel, 2004) del movimiento en el tipo de terapia, como del modelo matemático JERK mediante las funciones de MATLAB polyfit y polyval (Wisneski & Johnson, 2007). Para ser más óptimo su análisis y su control como lo han definido en varios trabajos anteriores (Loureiro & Harwin, 2007). Por lo cual se plantea este proceso, la construcción de un exoesqueleto a escala, donde calcule y se puedan reflejar los movimientos del antebrazo, mediante sensores de electromiografía (EMG) que simularán y emularán el mismo movimiento). El diseño de dos sensores de electromiografía (EMG) para la adquisición de la señal de los músculos bíceps y tríceps, la cual costa de un esquema de filtros de señal analoga manteniendo pulsos positivos, una tarjeta Arduino quien es el centro de operaciones ya que se encarga de la recepción y emisión de los pulsos mediante la transmisión de las señales a Matlab, la cual nos da la posibilidad de tener una visualización y control, posteriormente el hardware también se encarga de controlar dos servomotores que se activaran al detectar los movimientos de los músculos.

2. MOVIMIENTOS CINEMÁTICOS Y DINÁMICOS

Es la descripción matemática del movimiento, teniendo en cuenta variables mecánicas y físicas de un sistema de poleas de tercer grado para el miembro superior. La definición de cinemática que tomaremos, es la asociación del movimiento a la ecuación en cada punto del movimiento teniendo diferentes puntos de referencia (Waldron & Kinzel, 2004).

La causa que provoca el movimiento se denomina (dinámica), por la interacción de ellos por lo cual tendremos unidad de fuerzas dadas en kilopondios (kp) que actuarán sobre el miembro superior (MS) y determinando los movimientos resultantes. Las variables estáticas nos darán las condiciones de equilibrio del sistema.

De tal forma que se pueda desafiar el sistema locomotor como estrategia de mejoramiento para el tratamiento en la vida diaria, las capacidades orientadas a los movimientos, identificando los déficits de ciertos movimientos afectados, teniendo en cuenta el rango y el tiempo después de un accidente cerebro vascular (Cirstea & Levin, 2007).

2.1. Formulación teórica de la dinámica

Representamos el brazo y el antebrazo, considerando que el centro de gravedad del antebrazo es equidistante (17 cm) del codo y del objeto de 3 kilopondio. El bíceps se inserta a una distancia de 5 cm del codo, por lo que se debe calcular la fuerza ejercida por el bíceps (T) y la fuerza que se produce en la articulación brazo antebrazo (N) si el sistema está en equilibrio (Viladot Voegel, 2001), lo cual nos permite definir la siguiente ecuación (1) donde, las condiciones de equilibrio de este sistema.

$$T = N + P + P_1 \quad (1)$$

Donde T es la fuerza ejercida hacia arriba por parte del bíceps, que puede equivaler a 25,8 kilopondio la fuerza ejercida por la gravedad N, que es la fuerza ejercida en el cartílago articulación del codo, que es equivalente a 21,8 kilopondio (Viladot Voegel, 2001).

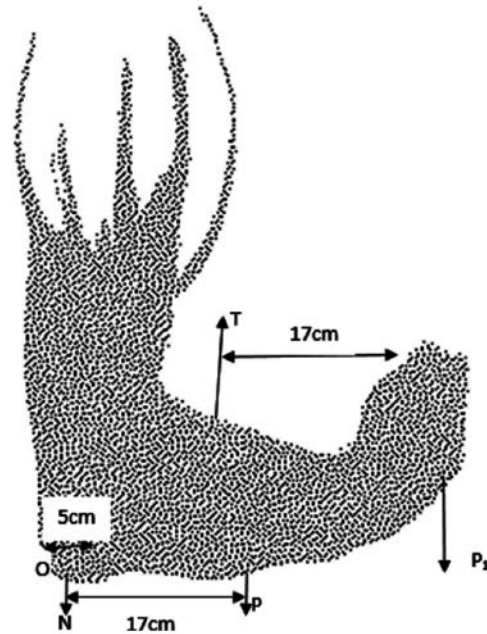


Fig. 1. representamos el brazo y el antebrazo.

Justo por encima de ambas superficies articulares, se encuentran tres fosas que permiten alojar relieves óseos de los huesos del antebrazo durante los movimientos de flexo extensión.

Por lo cual tomaremos este movimiento, asemejándolo a un sistema de placas de tercer grado, aplicando las leyes de Newton explicadas por (Cromer, 1996) en las cuales se establecen los parámetros de inercia, dando a entender que las fuerzas externas, o sea el peso con el cual se realice la terapia incide proporcionalmente en este factor. De esta forma se establece que la aceleración es proporcional a la fuerza en caída libre ya que esta se ve afectada en la extensión del codo con la activación del tríceps, y, por último cada acción tiene una reacción, por lo cual la fuerza externa en el sistema es la gravedad, la cual se vence constantemente, dándonos también la sensación de peso, ya que es la combinación de la masa por la gravedad.

2.2. Ecuación de Kutzbach-Gruebler

Esta ecuación se aplica cadenas cinemáticas seriales o abiertas, con el objetivo de calcular los grados de libertad aplicados.

$$DOF = 6(\ell - j - 1) + \sum_{i=1}^j m_i$$

Ecuación 1. Aplicación de diseño del CRAMER (Spencer et al., 2008)

En los datos de la ecuación 1, ℓ es el número de enlaces rígidos, j es el número de articulaciones, es la movilidad e i - estima la articulación de la muñeca. Por lo cual nos permite calcular el ángulo de los motores y su configuración; la derivada de esta ecuación nos permite calcular los puntos rígidos.

$$P(\theta) = e^{\hat{\xi}_S \theta_S} e^{\hat{\xi}_R \theta_R} e^{\hat{\xi}_F \theta_F} P_0,$$

Ecuación 2. Derivada para calcular puntos rígidos del sistema aplicados al CRAMER (Spencer et al., 2008)

La ecuación 2, donde $P_0 \in R^4$ es donde es una representación tridimensional de la localización del punto antes de sufrir cualquier rotación, θ_s es el ángulo S/P , θ_r es el ángulo R/U , θ_f es el ángulo F/E y el $\hat{\xi} \in \mathcal{R} 4 \times 4$ son las correspondientes matrices parciales de torsión de las rotaciones de las articulaciones del CRAMER (Spencer et al., 2008).

2.3. Modelo mínimo Jerk

Este modelo propone que la derivada del tiempo y la aceleración para comprobar un tirón. El modelo de mínimos de Jerk es la tercera derivada de la posición, la cual comprobaba la teoría, y el esquema de trayectoria más utilizado en entornos de terapia robótica (Patton, Kovic & Mussa-Ivaldi, 2006; Loureiro et al., 2003). La teoría ha sido planteada por Hogan y Flash en 1984 (Flash & Hogan, 1985).

El ADLER (Wisneski & Johnson, 2007) utiliza las ecuaciones de Jerk en el plano cartesiano, para lo que se desarrollaron polinomios de quinto orden, escalados a tiempo y pueden implementarse en el entorno del

modelo, el cual utiliza las condiciones límite de la velocidad inicial y final del cero y la aceleración, así como suministra los puntos inicial y final del movimiento en los planos X, Y y Z.

$$\begin{aligned} X(t) &= X_0 + (X_0 - X_f)(15T^4 - 6T^6 - 10T^3) \\ Y(t) &= Y_0 + (Y_0 - Y_f)(15T^4 - 6T^6 - 10T^3) \\ Z(t) &= Z_0 + (Z_0 - Z_f)(15T^4 - 6T^6 - 10T^3) \end{aligned}$$

Ecuación 3. Puntos de partida en el modelo del movimiento

En la anterior ecuación X_0 , Y_0 y Z_0 , y son los puntos de partida del momento (en $t=0$), este modelo predice los movimientos alineados rectos entre dos puntos y una curva en forma de campana de la velocidad (Wisneski & Johnson, 2007).

3. MOVIMIENTO DEL EXOESQUELETO

La articulación del codo tiene dos grados de libertad de movimiento: flexo extensión y pronosupinación. La articulación radio cubital proximal (en estrecha relación con la articulación radio cubital distal), permite los movimientos de pronosupinación del antebrazo, comportándose como una articulación de tipo trocoide. Por este motivo podemos describir la articulación del codo con una articulación troco ginglymoide. Debemos señalar, sin embargo, que aunque la articulación humero radial es anatómicamente una articulación esferoide, su asociación con la articulación humero cubital y radio cubital proximal restringe su movimiento a dos ejes (Takahashi et al., 2008).

Como se demuestra en la siguiente figura, la descripción de la estimulación muscular del musculo bíceps y tríceps la adquirió mediante una plaqueta de Arduino y su procesamiento mediante Matlab, implementándolo en un exoesqueleto en escala, siendo capaz de replicar el movimiento de este músculo de una persona totalmente sana, con el fin de ser aplicado en un futuro para las personas sobrevivientes de un derrame cerebral.

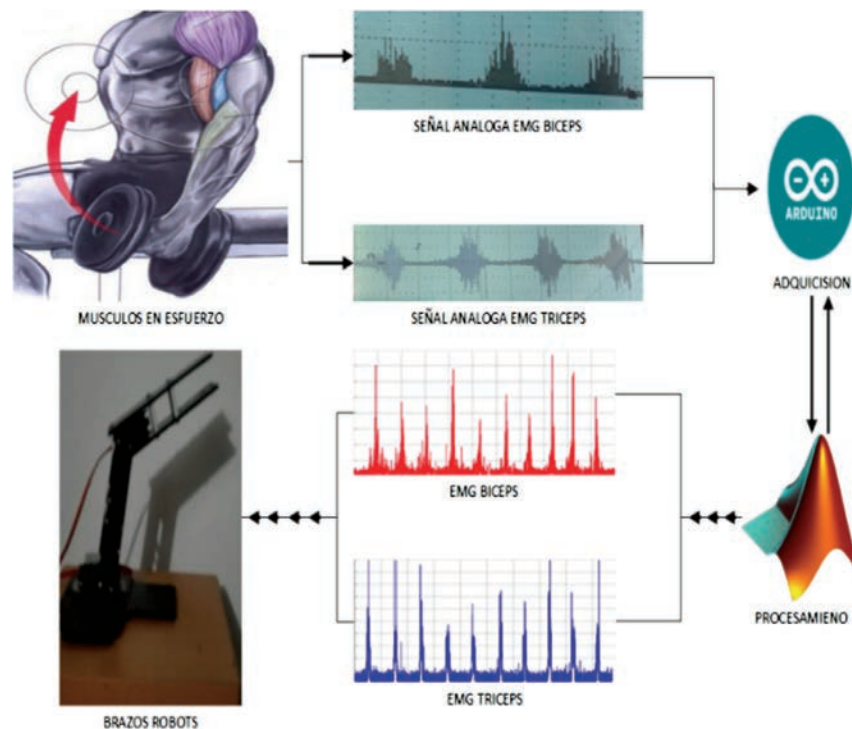


Fig.2. Diagrama de bloques de la adquisición y posterior movimiento en un exoesqueleto a escala

En la figura 2, se puede observar el comportamiento de los músculos en la interfaz gráfica durante la rutina de ejercicio; cada servomotor también indica los registros de movimientos proporcionados por el músculo en cualquier actividad, aquí se determina el movimiento muscular debido a los comportamientos aplicados en las pruebas, una vez realizados los estudios con cargas asignadas durante un tiempo determinado, se deben cambiar los valores en Kg para continuar con la investigación.

3.1. Terapia asistida por robot o exoesqueleto

La sensibilidad que implica el trabajo de apoyo en la mejora de la recuperación de hombro-codo robóticamente, es homogéneo a la recuperación motora; en los diferentes estudios realizados de brazo distal y proximal no se ha encontrado evidencia de la mejora significativa a favor del uso de estos dispositivos en la rehabilitación de este miembro (Kwakkel, Kollen & Krebs, 2008). Basado en los estudios de universidades de los países bajos en las diferentes facultades de medicina, neurología, rehabilitación y el departamento de ingeniería mecánica del (MIT),

se demostró una mejora significativa en la función motora de la extremidad superior. Para poder hacer un diferencial y distinguir mejor los efectos de la terapia asistida se deberá realizar un análisis cinemático de la terapia genuina de miembro superior (Prange et al., 2006).

3.2. Tipos de sensores

Los sensores utilizados para terapias de rehabilitación, son de fuerza y desplazamiento, por los cuales se controlan los movimientos del brazo y la mano (Loureiro & Harwin, 2007). Respecto a los diseños de exoesqueletos neumáticos se utilizan sensores de presión como el ASCX100AN instalado en el cilindro (Klein et al., 2008). En algunos sistemas los sensores de posición se componen de potenciómetros, codificadores del eje y caballos de fuerza, colocados en cada extremo del tren de potencia, controlando los movimientos de la articulación mediante la posición del motor (Rosen & Perry, 2007). Por lo cual no se han utilizado las señales de electromiografía para realizar un modelo dinámico de las extremidades humanas al no utilizar variables biológicas (Gunasekara et al., 2012).

Algunos ejemplos son: el laboratorio Ampere UMR, desarrolló el diseño de un exoesqueleto de miembro superior con cuatro grados de libertad para rehabilitación; teniendo en cuenta sensores de fuerza se implementaron cuatro, dos a cada lado del sistema: el sistema de control permite el movimiento según la rutina de reentrenamiento, su cinemática directa e inversa fue modelada mediante MATLAB y su interfaz SIMULINK (Garrido, Yu & Soria, 2014).

ABLE (Jarrassé et al., 2010) es un exoesqueleto de cuatro grados de libertad, que en su diseño utiliza sensores de fuerza colocados en un mecanismo de cadena fijada, realizando así su sistema de control, experimentalmente se obtuvieron diferentes rendimientos en la duración del movimiento y la simetría de la velocidad, por lo cual es conectado a un sistema de retroalimentación mejorando la eficacia de este. Cuando el paciente realiza el movimiento, la perturbación se retira, por lo cual la dinámica es proporcional al movimiento de asistencia dando una efectividad al usuario (Jarrassé et al., 2010).

EXO-UL7 (Miller & Rosen, 2010), el cual utiliza cuatro sensores para evaluar fuerza versus torque para accionar un PID para el control de este, el cual tiene un ahorro energético del 11% en términos de potencia, energía y tiempo. Una buena selección de actuadores y sensores (inerciales orientados al cambio de velocidad, orientación y ubicación) en microelectrónica minimizan los costos energéticos de un exoesqueleto (Miller & Rosen, 2010).

Debido a esto se realizó la construcción de dos sensores de EMG para garantizar el funcionamiento óptimo de la construcción a escala y disminuir costos; este sensor análogo consta de filtros y amplificadores de señal. figura 3.

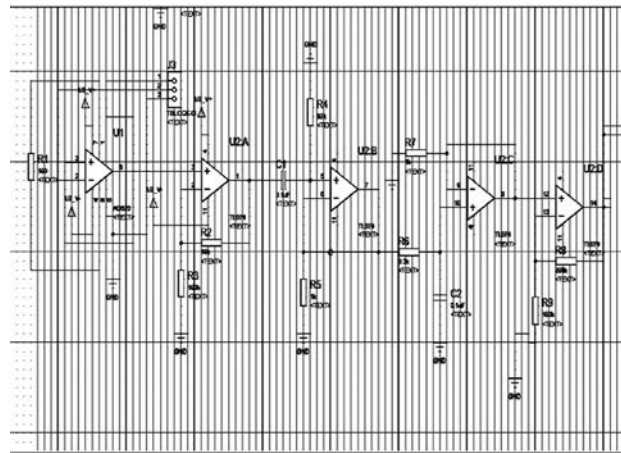


Fig.3. Diseño de sensor mioeléctrico para exoesqueleto de miembro superior

Acelerómetros

Para el análisis cinemático se debe tener en cuenta la posición, velocidad y aceleración (Waldron & Kinzel, 2004), ya que en conjunto con la neurofisiología, determinan la calidad del movimiento y comprenden los rendimientos del sistema de movimientos subyacentes al sistema locomotor (Gijbels, 2011).

Las señales son medidas mediante un electrogoniómetro, que permite medir la flexibilidad de la articulación y la aceleración por piezoeléctricos (Tipo 708, TEAC Corp.) (Bütefisch et al., 1995). Las cuales actúan tan pronto se realiza un movimiento que se normaliza mediante la actuación de los sensores, controlando los torques para evitar transformaciones del ejercicio programado (Riener, Nef & Colombo, 2005).

Existe un prototipo que combina una consola de videojuegos conocida como Nintendo Wii mediante su control wimote con 3 acelerómetros en diferentes ejes. A este se le dio el nombre de CRAMER (Spencer et al., 2008), la cual utiliza una programación basada en visual Basic. Para obtener la aceleración deseada para tener tiempos discretos se parametrizó utilizando una rutina fmicon de MATLAB. Basado en esta programación se realiza un exoesqueleto para iniciar un reentrenamiento basada en video juegos como golf y boliche, pero al realizar la terapia se encontraron con

un inconveniente debido a que algunos de los pacientes no mueven muy rápido sus dedos, por lo cual tiene un desfase en la programación, por lo que proponen la construcción de un control simulado, eliminando estos problemas de hardware y de software ya que esto no les da una compatibilidad cercana a la necesaria para obtener mejores resultados (Spencer et al., 2008).

4. DISEÑOS RELEVANTES

4.1. Prototipos experimentales de efecto final

El SPIDAR-G (Riener, Nef & Colombo, 2005), desarrollado en la MIMIC Technologies Inc. por el KIM en el año 2003, en este diseño ideal de retroalimentación de fuerzas basadas en las tensiones del sistema para caracterizar 7 grados de libertad (DOF), identificados en tres de traslación, tres de rotación y uno de alcance. Nombrándolo por dispositivo de interfaz de ritmo para realidad artificial con agarre (SPIDAR-G), por lo cual le permitía interactuar con objetos virtuales. El diseño parte de un sistema de poleas que realizan la función de dar la sanción de presión mediante unos motores dando a simular los sensores hápticos de la piel.

El prototipo ADLER (Wisneski & Johnson, 2007), desarrollado por Wisneski y Johnson en la universidad de Marquette en el año 2007, se basa principalmente en la recuperación de pacientes que han sufrido lesiones cerebrovasculares, considerando las acciones repetitivas beneficiosas para la reasignación neuronal y refuerzo de plasticidad motora. Con base en estudios realizados por ellos, realizan sus funciones orientadas hacia tareas hogareñas. Por lo cual proponen el robot de actividades de la vida diaria (ADLER), combinado con actividades de auto ayuda con el sistema, por lo cual tiene seis grados de libertad, sujeto mediante un cardan a una órtesis al antebrazo y muñeca, también contiene un sistema de agarre con electro estimulación eléctrica (TENS), las trayectorias están programadas para soportar el centro de la muñeca del paciente, ya que se empleará para las actividades comunes como beber y comer. Mediante la examinación del modelo matemático de mínimos de JERK, para determinar el

algoritmo de las trayectorias según las curvaturas naturales del movimiento, el desarrollo de este requiere emular el sistema nervioso central (SNC), por lo cual este recibe información visual y espacial sobre cada tarea, para así realizar el movimiento basado en estas tareas. El sujeto de estudio describe el movimiento como más natural pero los autores refieren que a este prototipo le hace falta aún más trabajo en comparación de otros diseños (Wisneski & Johnson, 2007).

El prototipo CRAMER (Spencer et al., 2008), desarrollado por Spencer en *University of California* en el año 2008, diseñado con el fin de mejorar la terapia para pacientes con accidente cerebrovascular crónico y disminuir los costos. Según la revisión bibliográfica del autor, decide diseñar un dispositivo para los movimientos de flexión, extensión, desviación radial y cubital de la muñeca, supinación y pronación del antebrazo con 3 grados de libertad (DOF). Para calcular los grados de libertad utilizó la ecuación de Kutzbach-Grüebler. La utilización de juegos de Wii como medio de recuperación no fue el más óptimo ya que hay problemas de compatibilidad y los pacientes no cuentan con la suficiente agilidad en los dedos para realizar estos movimientos en el caso del golf y la bolichera (Spencer et al., 2008).

Los prototipos HAND-CARE (Dovat et al., 2008a) y HAND-CARE 2 (Dovat et al., 2008b) desarrollados por Dovat en la *National University of Singapore* en el año 2008 -2009, son un sistema de rehabilitación de dedos, dándole la posibilidad al paciente de recuperar una gran cantidad de movimientos de los cinco dedos después de una lesión cerebrovascular.

El diseño Universal Haptic Drive (Oblak, Cikajlo & Matjacic, 2009), fue planteado como un dispositivo de rehabilitación de cualquier parte del brazo, con tan solo 2 grados de libertad; el modo de entrenamiento depende de la configuración mecánica, la fuerza proporcionada es conforme a la impedancia controlada teniendo en cuenta el factor de elasticidad dado por una articulación pasiva por Oblak en el University Rehabilitation Institute, Ljubljana, Slovenia.

ROBIN (Loureiro & Smith, 2011) (Rehabilitación de lesiones cerebrales), fue desarrollado por Loureiro en la School of Engineering and Information Sciences en conjunto con la *Middlesex University* en el año 2011, para el reentrenamiento de brazo después de una lesión o derrame cerebral. Para esto tiene doce

grados de libertad activos y nueve grados de libertad pasivos dándole los enfoques de readaptación asistida, asistida activa o pasiva o en combinación del alcance y compensación gravitacional en secuencias de alcance-captura-transferencia-liberación en posición de sentado o de pie.

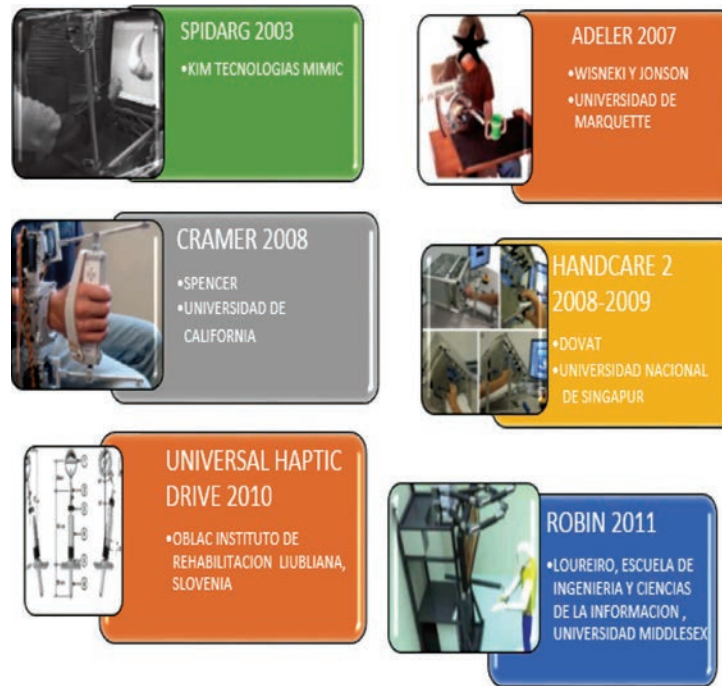


Fig.4. Prototipos de efecto final organizados por fecha de publicación

El diseño a escala de nuestro exoesqueleto se basa en estos modelos, teniendo en cuenta que no ha sido construido para pruebas en seres humanos, para esto se deben cambiar las características del material a usar y aumentar la potencia de los motores, así como mejorar la base a anclar, por lo cual se realiza un modelo a escala para tener en cuenta en construcciones futuras de estos diseños como lo muestra la Figura 4.

Para la construcción de nuestro prototipo a escala real, será necesario implementar dos sistemas adicionales que delimiten los grados de libertad del movimiento (DOF), y que se pueda distinguir perfectamente la evolución del tejido muscular, comparando las dos señales electromiográficas, por lo cual el software se volverá un poco más robusto en estos dos aspectos a tener en cuenta.

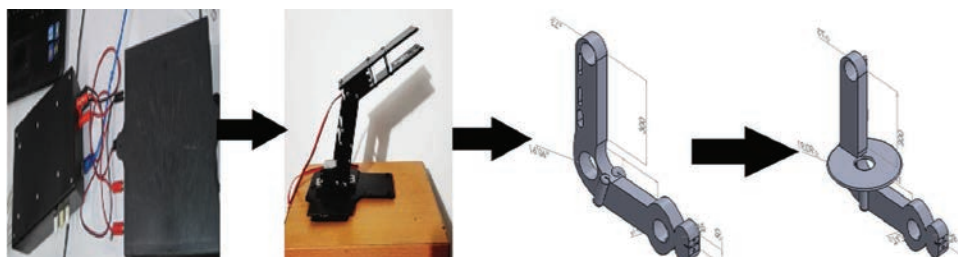


Fig. 5. Facetas del diseño de prototipo a escala real

Para realizar un diseño óptimo se deben cumplir varias fases para llegar a tener un nivel adecuado para ser aceptado por el mercado y por los pacientes, por lo que el diseño debe ser evaluado con condiciones mecánicas de los materiales, con los cuales se debe hacer una evaluación de costo beneficio con una diversidad de ellos, haciendo pruebas teóricas mediante análisis de elementos finitos (FEM) y pruebas físicas adicionales.

Prototipos experimentales de exoesqueleto

A continuación, se presentan diversos prototipos de exoesqueleto que son experimentales:

En el año 2006 (Mali & Munih, 2006) se desarrolla el prototipo HIFE, que consiste en un dispositivo háptico con dos grados activos de libertad en un sistema impulsado por tendones. Fue construido como un mecanismo pequeño para el dedo, generando una fuerza de 10 N, adecuado para el ejercicio con los dedos, como los modelos cinemáticos y dinámicos del dispositivo del diseño de control, la implementación de la aplicación en una PC, el entorno de control de clase de milisegundos en tiempo real, y los mecanismos de seguridad al paciente. Además, se realizó la prueba de duración para la fuerza de salida sostenida máxima y las validaciones de precisión de la fuerza de salida y la consistencia de la ruta seguida, lo que hace que el dispositivo sea adecuado para fines terapéuticos desarrollados por Mali y Munih en la Universidad de Ljubljana (*Univerza v Ljubljani*).

El carden-7 (Rosen & Perry, 2007) ofrece la recuperación de 7 movimientos de la vida diaria del miembro superior, teniendo en cuenta la interfaz hombre-máquina, produciendo una nueva generación tecnológica hacia este campo de la rehabilitación médica, concretamente hacia las articulaciones glenohumeral, codo y muñeca. Sus aplicaciones según el autor son: dispositivo terapéutico y de diagnóstico para fisioterapia, dispositivo de asistencia de órtesis para ampliaciones de potencia humana, dispositivo háptico en simulación de realidad virtual y dispositivo maestro para la tele operación diseñado por Perry en el año 2007 en la *University of Washington*.

Medarm (Ball, Brown & Scott, 2007) es un prototipo de exoesqueleto para rehabilitación compleja del hombro, dándole un sistema complejo de seis grados de libertad (DOF), enfocándose principalmente en las articulaciones esternoclavicular, glenohumeral y codo. Por lo cual tiene un movimiento más natural, evitando singularidades y maximizando la capacidad de manipulación, minimizando la inercia del sistema, dándole cualquier nivel de asistencia en el movimiento y compensación gravitacional para utilización en pacientes con accidentes cerebrovasculares, desarrollado en la *Queen's University*, Kingston, por Ball en el año 2007.

El DAMPACE (Stienen et al., 2007) fue diseñado como un sistema pasivo para controlar la rotación del hombro y el codo, dando su funcionalidad a las actividades diarias como entrenamiento de coordinación y fuerza; puede ayudar al diagnóstico de trastornos del movimiento, en pacientes con accidente cerebrovascular para ayudar en su tratamiento. El diseño nos permite no alinear el dispositivo con el hombro y las hachas de codo superan algunas de las dificultades tradicionalmente asociadas con los exoesqueletos. La reducción de los tiempos de preparación a unos pocos minutos y la ausencia de fuerzas de reacción estáticas en las articulaciones humanas, son ventajas importantes y han sido bien recibidas por terapeutas y médicos, ha sido diseñado por Stienen en la *Universiteit Twente* en el año 2007.

Se presenta el diseño de un robot exoesquelético portátil, para la rehabilitación de los traumatismos de las extremidades superiores, asistido con evaluación clínica (RUPERT) (Sugar et al., 2007), que realiza unos movimientos repetitivos, los cuales han demostrado que la rehabilitación física intensa y repetitiva es beneficiosa para superar los déficits de las extremidades superiores. Según el autor, tiene cuatro grados de libertad accionados por músculos neumáticos (PM) resistentes y seguros en el hombro, el codo y la muñeca; están programados para activar el dispositivo para extender el brazo y moverlo en el espacio 3-D. Los sensores retroalimentan la posición y dan información

para la evaluación cuantitativa del rendimiento de la tarea. Desarrollado en el año 2007 por Sugar en *The University of Arizona*.

El exoesqueleto para rehabilitación de deterioro neurológico (IntelliArm) (Park, Ren & Zhang, 2008), se basa en siete grados de libertad pasivos y dos activos, permitiendo un diseño ergonómico correcto al miembro superior para medir torsiones y fuerzas en 18 ejes y 9 posiciones, realizando un diagnóstico preciso y cuantitativo, estiramiento articular control inteligente para ajustar la velocidad de estiramiento constantemente de acuerdo con las condiciones de la articulación, movimiento voluntario para realizar tareas funcionales y evaluaciones de resultados del tratamiento. Este prototipo fue desarrollado en el año 2008 por Park en *Northwestern University*.

ABLE (Garrec, 2008) es un prototipo de exoesqueleto desarrollado por CEA-LIST Interactive Robotics diseñado por Garrec en el año 2008, es el primer modelo de 4 ejes, pero ya han comenzado el diseño con 7 ejes y versiones portátiles, manteniendo la baja inercia y la alta eficiencia, con una capacidad de 40N de esfuerzo continuo en la mano con su aplicabilidad al proyecto BRAHMAN para la rehabilitación de miembro superior. Esta prototipo se adaptará a las funciones típicas, por lo cual debe cumplir con funciones de teleobjetivos intuitivos, dispositivos hápticos para realidad virtual y entrenamiento deportivo. Los diferentes usuarios han comentado que debe mejorar su diseño para proporcionar ajustes de longitud del brazo y minimizar su gran tamaño.

La *University of California*, desarrolla (BONES) (Klein et al., 2008) en el año 2008, diseñado por Klein. BONES consta de cuatro grados de libertad, diseñado neumáticamente para la rehabilitación de hombro, control de flexión y extensión de codo. El diseño no demuestra mucha inercia y genera fuerza de acción directo en la articulación del hombro, tiene la capacidad de generar movimientos de rotación interna y externa del brazo, sin ningún elemento circular basado en la biomecánica del antebrazo. Realizando movimientos

más naturalistas para ser aplicado en rehabilitación de pacientes con lesiones cerebrovasculares.

El MGA (Carignan, Tang & Roderick, 2009) tiene 6 grados de libertad diseñado para la rehabilitación de hombro, se desarrolla adicional una interfaz háptica en función de entornos virtuales, para realizar entornos de telemetría durante cierta tarea, realizando los efectos de resistencia e inercias suficientes para mejorar la terapia mediante este medio; desarrollado por la armada de Estados Unidos y diseñada por Carignan en el año 2009.

EXOROB (Rahman, Saad, Kenné & Archambault, 2009), está diseñado y enfocado principalmente en rehabilitar el miembro superior, ya que es vital en las funciones diarias, el cual utiliza seis grados de libertad, emulando los movimientos naturales, a partir de un modelo cinemático y modificaciones según la metodología Denavit-Hartenberg para lograr una simulación computarizada no lineal, para de esta manera ser más efectivos con el tratamiento propuesto, diseñado por Rahman en el año 2009 en la Electrical Engineering Department, École of Technologie Supérieure.

El diseño del SUEFUL-7 (Gopura, Kiguchi & Yi, 2009) está basado en un control de electromiografía (EMG) y siete grados de libertad. Realiza los movimientos de flexión y extensión vertical y horizontal del hombro, rotación interna y externa del hombro, la flexión y extensión del codo, la supinación y pronación del antebrazo, la flexión y extensión de la muñeca y en la muñeca desviación radial y cubitales de individuos físicamente débiles. Considerando el vector de la fuerza del efecto final, los parámetros de impedancia se ajustan en tiempo real al considerar la postura de la extremidad superior y los niveles de actividad de EMG.

El REHABEXOS (Vertechy, 2009) diseñado por Vertechy en PERCRO, laboratorio de la *Scuola Superiore Sant'Anna* en el año 2009, este prototipo se basa en el L-EXOS, pero este genera fuerzas de contacto controladas en toda la extremidad no solo en la muñeca. Mejorando sustancialmente su diseño hacia la seguridad del paciente, así como la efectividad de este. Enfocado

en la rehabilitación en el miembro superior (MS) después de una lesión cerebral o de médula espinal, como de accidentes cerebrovasculares, este diseño consta de cinco grados de libertad, permitiendo la flexo-extensión de codo, supinación y pronación del antebrazo, los movimientos de la muñeca. Mejorando el (MAHI EXO I) (Fitle, Pehlivan & O'Malley, 2015), agregado para permitir la abducción del hombro, lo que mejora la alineación, y el hardware ahora permite el intercambio simplificado y rápido del lado del tratamiento, arreglando el contragolpe y la singularidad de los datos, por lo cual MAHI EXO II (Fitle, Pehlivan & O'Malley, 2015) mejoró estos detalles, mejorando el control de las funciones terapéuticas y el diagnóstico. Este prototipo fue diseñado en el año 2011 por Pehlivan en *Rice University*.



Fig. 6. Prototipos de exoesqueletos organizados cronológicamente

4. CONCLUSIONES

El diseño de un exoesqueleto, debe cumplir con la biomecánica, así como la ergonomía necesaria, sin olvidar los cálculos necesarios para mantener grados de libertad en nuevos sistemas planteados, teniendo en cuenta la formulación de Kutzbach-Gruebler y mínimos de Jerk, modificando el sistema de sensores de fuerza, desplazamiento y presión.

La construcción de un sistema de sensores debe tener en cuenta variables fisiológicas unidas a las utilizadas actualmente, de forma que estos exoesqueletos puedan utilizar redes neuronales en un futuro, para realizar procesos de rehabilitación en personas con daños neuronales a partir de la biomecánica, construyendo puentes de comunicación.

En la construcción de un exoesqueleto de miembro superior se debe tener en cuenta que, adapte una sensórica tradicional con señales fisiológicas de los músculos afectados, realizando un control más efectivo y dinámico alimentando la cinemática actual del cuerpo.

REFERENCIAS

- Abend, W., Bizzi, E. & Morasso, P. (1982). Human arm trajectory formation. *Brain*, 105(2), 331–348.
- Ball, S. J., Brown, I. E. & Scott, S. H. (2007). MEDARM: A rehabilitation robot with 5DOF at the shoulder complex. *IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatronics, AIM*.
- Bütefisch, C., Hummelsheim, H., Denzler, P. & Mauritz, K. H. (1995). Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *J. Neurol. Sci.*, 130,(1), 59–68.
- Carignan, C., Tang, J. & Roderick, S. (2009). Development of an exoskeleton haptic interface for virtual task training. *IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. IROS*. 3697–3702.
- Cirstea, M. C. & Levin, M. F. (2007). Improvement of Arm Movement Patterns and Endpoint Control Depends on Type of Feedback During Practice in Stroke Survivors. *Neurorehabil. Neural Repair*, 21(5), 398–411.
- Cromer, A. H. (1996). *Física para las ciencias de la vida*, Segunda ed. Barcelona: Reverté.

- Dovat, L., Lambercy, O., Gassert, R., Maeder, T., Milner, T., Leong, T. C. & Burdet, E. (2008a.). HandCARE: A cable-actuated rehabilitation system to train hand function after stroke. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 16(6), 582–591.
- Dovat, L., Lambercy, O., Gassert, R., Burdet, E. & Leong, T. C. (2008b). HandCARE2: A novel cable interface for hand rehabilitation. *Virtual Rehabil.* IWVR.
- Fitte, K. D., Pehlivan, A. U. & O'Malley, M. K. (2015). A robotic exoskeleton for rehabilitation and assessment of the upper limb following incomplete spinal cord injury. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2015–June, 4960–4966.
- Flash T. & Hogan, N. (1985). The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model. *J. Neurosci.*, 5(7), 1688–1703.
- Garrec, P., Friconeau, J. P., Méasson, Y. & Perrot, Y. (2008). ABLE, an innovative transparent exoskeleton for the upper-limb. *IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. IROS*, 1483–1488.
- Garrido, J., Yu, W. & Soria, A. (2014). Design and Modeling of an Upper Limb Exoskeleton. *5th IEEE RAS/EMBS Int. Conf. Biomed. Robot. Biomechatronics*, 508–513.
- Gijbels, D., Lamers, I., Kerkhofs, L., Alders GKnippenberg, E. & Feys, P. (2011). The Armeo Spring as training tool to improve upper limb functionality in multiple sclerosis: a pilot study. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 8(1), 5.
- Gopura, R. A. R. C., Kiguchi, K. & Yi, Y. (2009). (2009). SUEFUL-7: A 7DOF upper-limb exoskeleton robot with muscle-model-oriented EMG-based control. *IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. IROS 2009*, 1126–1131.
- Gunasekara, J. M. P., Gopura, R. A. R. C., Jayawardane, T. S. S. & Lalitharathne, S. W. H. M. T. D. (2012). Control methodologies for upper limb exoskeleton robots. *IEEE/SICE International Symposium on System Integration, SII 2012*, 19–24.
- Guo, C. & Morris, S. A. (2017). Engineering cell identity: establishing new gene regulatory and chromatin landscapes. *Curr. Opin. Genet. Dev.*, 46, 50-57.
- Hallett, M. (2002). Recent advances in stroke rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 16(2), 211–217.
- Hogan, N. (1984). An organizing principle for a class of voluntary movements. *J. Neurosci.*, 4(11), 2745–2754.
- Hwang, C. H., Seong, J. W. & Son, D. S. (2012). Individual finger synchronized robot-assisted hand rehabilitation in subacute to chronic stroke: a prospective randomized clinical trial of efficacy. *Clin. Rehabil.*, 26(8), 696–704.
- Jarrassé, N., Tagliabue, M., Robertson, J. V., Maiza, A., Crocher, V., Roby-Brami, A. & Morel, G. (2010). A methodology to quantify alterations in human upper limb movement during co-manipulation with an exoskeleton. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 18(4), 389–397.
- Kim, S., Berkley, J. J. & Sato, M. (2003). A Novel Seven Degree of Freedom Haptic Device for Engineering Design. *Virtual Real.*, 6(4), 217–228.
- Klein, J., Spencer, S.J., Allington, J., Minakata, K., Wollbrecht, E.T., Smith, R. Bobrow, J. E. & Reinkensmeyer, D. J. (2008). Biomimetic orthosis for the neurorehabilitation of the elbow and shoulder (BONES). *2nd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, 19-22 oct., 535–541.
- Kwakkel, G., Kollen, B. J. & Krebs, H. I. (2008). Effects of Robot-Assisted Therapy on Upper Limb Recovery After Stroke: A Systematic Review. *Neurorehabil. Neural Repair*, 22(2), 111–121.
- Loureiro, R., Amirabdollahian, F., Topping, M., Driessen, B. & Harwin, W. (2003). Upper limb robot mediated stroke therapy - GENTLE/s approach. *Auton. Robots*, 15(1), 35–51.
- Loureiro, R. C. V. & Harwin, W. S. (2007). Reach & grasp therapy: Design and control of a 9-DOF robotic neuro-rehabilitation system. *2007 IEEE 10th Int. Conf. Rehabil. Robot. ICORR*, 13-15 june, 757–763.
- Loureiro R. C. V. & Smith, T. A. (2011). Design of the ROBIN system: Whole-arm multi-model sensorimotor environment for the rehabilitation of brain injuries while sitting or standing. *IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot.*
- Mali, U. & Munih, M. (2006). HIFE-haptic interface for finger exercise. *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, 11(1), 93–102.
- McGibbon, C. A., Brandon, S. C. E., Brookshaw, M. & Sexton, A. (2017). Effects of an over-ground exoskeleton on external knee moments during stance phase of gait in healthy adults,” *Knee*, 24(5), 977-993.
- Miller, L. M., & Rosen, J. (2010). Comparison of multi-sensor admittance control in joint space and task space for a seven degree of freedom upper limb exoskeleton. *3rd IEEE RAS EMBS Int. Conf. Biomed. Robot. Biomechatronics, BioRob*, 70–75.
- Nichols-Larsen, D. S., Clark, P. C., Zeringue, A., Greenspan, A. & Blanton, S. (2005). Factors influencing stroke survivors' quality of life during subacute recovery. *Stroke*, 36(7), 1480–1484.
- Oblak, J., Cikajlo, I. & Matjacic, Z. (2009). A universal haptic device for arm and wrist rehabilitation. *Work*, 1(3), 436–441.
- Orozco, J. L. V. (1999). Enfermedad cerebro vascular. vol. 3, no. 4, pp. 1219–1224.
- Park, H. S., Ren, Y. & Zhang, L. Q. (2008). IntelliArm: An exoskeleton for diagnosis and treatment of patients with neurological impairments. *Proc. 2nd Bienn. IEEE/RAS-EMBS Int. Conf. Biomed. Robot*, 109–114.
- Patton, J. L., Kovic, M. & Mussa-Ivaldi, F. (2006). Custom-designed haptic training for restoring reaching ability to individuals with poststroke hemiparesis. *J. Rehabil. Res. Dev.*, 43(5), 643–656.

- Prange, G. B., Jannink, M. J. A., Groothuis-Oudshoorn, C. G. M., Hermens, H. J. & IJzerman, M. J. (2006). Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke. *J. Rehabil. Res. Dev.*, 43(2), p. 171-184.
- Rahman, M. H., Saad, M., Kenné, J. P. & Archambault, P. S. (2009). Modeling and control of a 7DOF exoskeleton robot for arm movements. *IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics, RO-BIO*, 245–250.
- Reinkensmeyer D. J., Emken, J. L. & Cramer, S. C. (2004). Robotics, Motor Learning, and Neurologic Recovery. *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 6(1), 497–525.
- Riener, R., Nef, T. & Colombo, G. (2005). Robot- aided neurorehabilitation of the upper extremities. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 43, 2–10.
- Rosen, J. & Perry, J. C. (2007). Upper Limb Powered Exoskeleton. *Int. J. Humanoid Robot.*, 4(3), 529–548.
- Ruiz Garate, V., Parri, A., Yan, T., Munih, M., Molino Lova, R., Vitiello, N. & Ronsse, R. (2017). Experimental Validation of Motor Primitive-Based Control for Leg Exoskeletons during Continuous Multi-Locomotion Tasks. *Front. Neuro-robot.*, 11, 15.
- Spencer, S. J., Klein, J., Minakata, K., Le, V., Bobrow, J. E. & Reinkensmeyer, D. J. (2008). A low cost parallel robot and trajectory optimization method for wrist and forearm rehabilitation using the Wii. *Proc. 2nd Bienn. IEEE/RAS-EMBS Int. Conf. Biomed. Robot.*, 869–874.
- Stienen, A., Hekman, E., Van der Helm, F., Prange, G., Jannink, M., Aalsma A. M.M. & Kooij, H. V. d. (2007). Dampace: Dynamic force-coordination trainer for the upper extremities. *IEEE 10th Int. Conf. Rehabil. Robot. ICORR'07*, 820–826.
- Sugar, T. G., He, J., Koeneman, E. J., Koeneman, J. B., Herman, R., Huang, H., Schultz, R.S., Herring, D.E., Wanberg, J., Balasubramanian, S., Swenson, P. & Ward, J. A. (2007). Design and control of RUPERT: A device for robotic upper extremity repetitive therapy. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 15(1), 336–346.
- Takahashi, C. D., Der-Yeghiaian, L., Le, V., Motiwala, R. R. & Cramer, S. C. (2008). Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain*, 131(2), 425–437.
- Vertechy, R., Frisoli, A., Dettori, A., Solazzi, M. & Bergamasco, M. (2009). Development of a new exoskeleton for upper limb rehabilitation. *IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot.*, 188–193.
- Viladot Voegeli, A. (2001). *Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor*. Barcelona: Springer-Verlag.
- Waldron, K. J. & Kinzel, G. L. (2004). *Kinematics, dynamics, and design of machinery*. New Jersey: Wiley-Balckwell.
- Warlow, C. P., Gijn, J. v., Dennis, M. S., Wardlaw, J. M., Bamford, J. M., Hankey, G. J., Sandercock, P. A. G., Rinkel, G., Langhorne, P., Sudlow, C., Rothwell, P. (2007). *Stroke : Practical Management*. New Jersey: Wiley-Blackwell.
- Wisneski, K. J. & Johnson, M. J. (2007). Trajectory planning for functional wrist movements in an ADL-oriented, robot-assisted therapy environment. *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, April, 3365–3370.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN DE PLOMO (II) PRESENTE EN AFLUENTES SINTÉTICOS, UTILIZANDO BIOADSORVENTES DE ORIGEN VEGETAL

EVALUATION OF BIOADSORCIÓN CAPACITY OF LEAD (II) PRESENT IN SYNTHETIC TRIBUTARIES, USING VEGETABLE-BASED BIOADSORVENTES

Rosa Catalina Hernández Gómez¹, Jennyfer Garzón Gutiérrez²,
Maritza La Rotta La Rotta³, Jayerth Guerra Rodríguez⁴

Ingeniera ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C, Colombia

Recibido: 20/11/2017 • Aprobado: 25/11/2017

RESUMEN

En el presente artículo se presenta la evaluación de la capacidad de bioadsorción de Pb (II) en soluciones sintéticas, utilizando como bioadsorbentes elodea (*Egeria densa*), vaina de arveja y borra de café. Se realizaron estudios a nivel de laboratorio donde se determinaron el pH y concentración óptimos; encontrando que a pH 4 la elodea y la vaina de arveja presentaron mayor eficiencia de remoción de iones Pb (II) con un 91% y 72,6% respectivamente, y la borra de café fue descartada para la siguiente etapa, ya que la mayor retención que presentó fue de 68,8% a pH 7. En la siguiente prueba, se determinó que la concentración óptima para la elodea y la vaina de arveja fue de 20 mg/l, presentando una mejor remoción la elodea con un 97,99% frente al 93,63% de la vaina de arveja. Finalmente, se realizó un estudio en columna, utilizando el bioadsorbente óptimo (elodea), encontrando el punto de ruptura ($C_R/C_0 = 0,005$) a las 30 horas, para una concentración de ruptura (C_R) de 0,1 mg/l de Pb (II), no se logró llegar al punto de saturación. En la desorción se obtuvo una remoción del plomo retenido en el lecho de 12,12 mg/l (60,6%), empleando una solución de HCl 0,1 M.

Palabras clave: bioadsorción, contaminación por plomo, Elodea (*Egeria densa*).

ABSTRACT

This article presents the evaluation of the capacity of Bioadsorción of Pb (II) in synthetic solutions, using as bioadsorbents Elodea (dense *Egeria*), sheath of peas and clears of coffee. Laboratory-level studies were conducted to determine optimal pH and concentration, finding that at PH 4 the Elodea and sheath of peas presented higher efficiency of PB

¹ chernandezgo@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1287-5707>

² jgarzonud7@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2193-2304

³ maritzalarotta@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0256-5748>

⁴ jayerth2003@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1185-7304>

(II) ion removal with 91% and 72.6% respectively, and the coffee clears was discarded for the next stage, as the largest retention it presented was 68.8% at PH 7. In the following test, it was determined that the optimal concentration for the Elodea and the sheath of peas was 20 mg/l, presenting a better removal of the elodea with a 97.99% compared to 93.63% of the sheath of peas. Finally, a study was conducted in a column, using the optimal bioadsorbent (Elodea), finding the rupture point ($C_R/Co = 0.005$) at 30 hours; for a rupture concentration (C_R) of 0.1 mg/L of Pb (II), the saturation point was not reached. In desorption it was obtained a removal of lead retained in the bed of 12.12 mg/l (60.6%), using a solution of HCl 0.1 M.

Key words: bioadsorción, elodea (dense egeria), lead contamination.



1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, existe una gran preocupación debido al incremento de la contaminación del agua, el aire y los suelos, causada por las actividades industriales que van en aumento, impactando estos medios de tal forma que los residuos generados exceden la capacidad de carga, lo cual no permite su autodepuración, teniendo como consecuencia la acumulación de tales residuos en el ambiente. Lo anterior, se ve reflejado en el deterioro de la salud pública, disminución de la calidad del agua, el aire, y los suelos, generando problemáticas ambientales a nivel local, regional y global.

Dentro de los residuos más impactantes, se encuentran los metales pesados como el plomo, generado por algunas actividades económicas como la fundición de metales, fabricación de pinturas, equipos electrónicos, industria del vidrio, minería, industrias de petróleo, galvanotecnia, curtiembres y la producción y reciclaje de baterías; siendo esta última una de la que más contamina los cuerpos de agua, teniendo en cuenta que esta industria representa el 80% del uso total del plomo en países donde es medido y registrado (ILZSG, 2010). Un factor muy importante del impacto del plomo en el ambiente, es su capacidad para acumularse en organismos (bioacumulación) y la posibilidad de ascender por la cadena alimentaria (biomagnificación), afectando la integridad de los ecosistemas y la salud de los seres humanos (IPCS, 1995). Además, este elemento es considerado de elevada toxicidad, dado que es embriotóxico, neurotóxico, teratogénico, mutagénico

y posiblemente carcinogénico (US-EPA, 2005; ATSDR, 2007). Por esta razón, la eliminación del plomo del ambiente es prioritaria.

Existen varias alternativas de tratamiento tradicionales para la retención de plomo y otros metales pesados, los cuales se clasifican comúnmente en físico-químicos (adsorción, intercambio iónico, procesos de membrana, oxidación avanzada y precipitación química) y biológicos (fitorremediación, bioacumulación, biomineralización, biotransformación y bioadsorción). La bioadsorción, consiste en la capacidad de la biomasa viva o muerta de retener iones metálicos en su superficie, esto es causado, por una serie de interacciones entre la pared de la célula y las especies metálicas presentes en el afluente contaminado (Volesky, 1990; Cañizares, 2000).

Esta investigación, pretende evaluar la capacidad de bioadsorción de plomo (II) de tres bioadsorbentes de origen vegetal, obtenidos a partir de las biomásas: elodea, vaina de arveja y borra del café; mediante pruebas tipo batch en los bioadsorbentes a diferentes concentraciones de Pb(II) y pH en función del tiempo, con los resultados obtenidos en las pruebas se seleccionará el bioadsorbente que presente mayor eficiencia de bioadsorción; finalmente, con el bioadsorbente seleccionado se llevará a cabo una prueba de banco, utilizando una columna de bioadsorción por gravedad, para determinar el tiempo de saturación y de ruptura

a partir de la curva de avance, la cual es una representación gráfica del comportamiento del lecho al interior de la columna a medida que desciende el afluente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Obtención del bioadsorbente.

Los bioadsorbentes vegetales fueron preparados a partir de las biomásas obtenidas de elodea proveniente del lago del parque Metropolitano Simón Bolívar, vainas de arveja de la plaza de mercado de Corabastos y borra del café proveniente de las tiendas de café OMA, en Bogotá Colombia. Las biomásas se lavaron varias veces en un balde con agua potable y luego con agua desionizada. Al finalizar el lavado, se dejó secar cada material al ambiente durante 8 días. Pasado este tiempo, se llevaron a secado en un horno marca Binder a 80°C por 72 horas. Posteriormente las biomásas fueron molidas en un molino eléctrico marca Corona y tamizadas en tamices marca Dirimpex de 125 μm y 500 μm y finalmente, cada bioadsorbente se empacó por separado en bolsas plásticas herméticas.

2.2. Estudios de bioadsorción en prueba tipo batch

Efecto del pH. Se preparó una solución de Pb (II) con una concentración de 100 mg/l, a partir de nitrato de plomo Pb (NO_3)₂ marca Merck con un 99.5% de pureza, en agua desionizada; posteriormente, por cada bioadsorbente se prepararon 5 soluciones de 10 mg/l de Pb (II) con pH 3, 4, 5, 6 y 7 respectivamente, agregando 10ml de la solución de 100 mg/l de Pb (II), a cada balón de 100ml y llevándolos al aforo con cada una de las soluciones buffer correspondientes. Por cada bioadsorbente, se realizó un montaje tipo batch en el cual se utilizó un beaker de 250 ml por cada pH, en cada uno de los cuales se adicionó 0.5g de bioadsorbente, con 100 ml de las soluciones preparadas anteriormente. Estos montajes se llevaron a cabo a temperatura ambiente y en agitación constante a 200 rpm en planchas marca Heidolph durante 30 minutos. Pasado ese tiempo se tomaron muestras de 30 ml de las soluciones resultantes en cada beaker y se filtraron mediante un montaje de microfiltración al vacío

empleando filtros de membrana marca Schleicher & Schuell de diámetro de poro 0,45 μm . Las muestras se almacenaron en frascos de polietileno, se preservaron con ácido nítrico (HNO_3) al 65% (Icontec, NTC 4254, 1997) y fueron analizadas por espectrofotometría de absorción atómica de llama.

2.2.1. Cinética de bioadsorción

Con el fin de poder cuantificar el proceso de bioadsorción, se recurre al cálculo de los parámetros de capacidad de bioadsorción y afinidad de la biomasa por un determinado metal, mediante el ajuste de los datos experimentales a una isoterma de adsorción (Lezcano, 2009). Las isotermas de adsorción son representaciones gráficas de las situaciones de equilibrio entre la concentración del soluto en la fase líquida y la cantidad del mismo que es o no adsorbida por el sólido a una temperatura dada (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Para cada bioadsorbente, se colocaron en vasos de precipitado de 250 ml, 100 ml de soluciones de 10, 20, 50 y 100 mg/L de Pb (II) respectivamente, ajustadas a pH óptimo; a cada solución se le agregó 0.5g de bioadsorbente. Las soluciones se mantuvieron en agitación constante a 200 rpm y se tomaron alícuotas de 25 ml a los 10, 20, 30 y 45 minutos, las cuales se filtraron, preservaron y analizaron. A cada bioadsorbente se le realizó un control con agua potable y la misma cantidad de bioadsorbente. Para el análisis de los datos obtenidos, se realizaron estudios de cinética de bioadsorción empleando las isotermas de Langmuir y Freundlich con cada uno de los bioadsorbentes. Con los resultados obtenidos, se seleccionó la biomasa vegetal con mayor capacidad de bioadsorción.

2.3. Estudios de bioadsorción en columna

En una columna de bioadsorción, el fluido que se va a tratar, se hace descender a través del lecho empacado a una tasa de flujo constante, entrando en contacto con el bioadsorbente fresco en la parte superior de la columna, donde comienza la bioadsorción progresiva del soluto cada vez que el fluido se va moviendo a través de la columna (Guerrero, 2001). Estos estudios se realizan con el fin de estimar el punto de ruptura al

interior del lecho empacado en la columna, el punto de saturación, lo que puede demostrar la capacidad de la columna y en qué momento se debe cambiar de lecho dado que se alcanza el equilibrio de concentraciones con la alimentación de contaminante. El conocimiento de la curva de ruptura, es fundamental para el diseño de columnas de bioadsorción ya que a partir de ella se establecen los parámetros que permitirán predecir el funcionamiento de estos sistemas a mayor escala.

Con el bioadsorbente seleccionado, se realizaron ensayos en una columna de bioadsorción por gravedad, tratando un afluente con las condiciones óptimas encontradas en la etapa anterior. El sistema de columna de bioadsorción consistió en un tanque de alimentación de 20 litros de capacidad, conectado a través de una tubería de PVC de 1/2" a una columna de 50 cm de altura y 2,5 cm de diámetro, empacada hasta el 60 % de su altura (previniendo una posible expansión del lecho) con 40 gramos del bioadsorbente seleccionado. La parte inferior de la columna, se unió a una tubería PVC de 1/2", que transportó el efluente tratado a un recipiente de recolección. Figura 1.

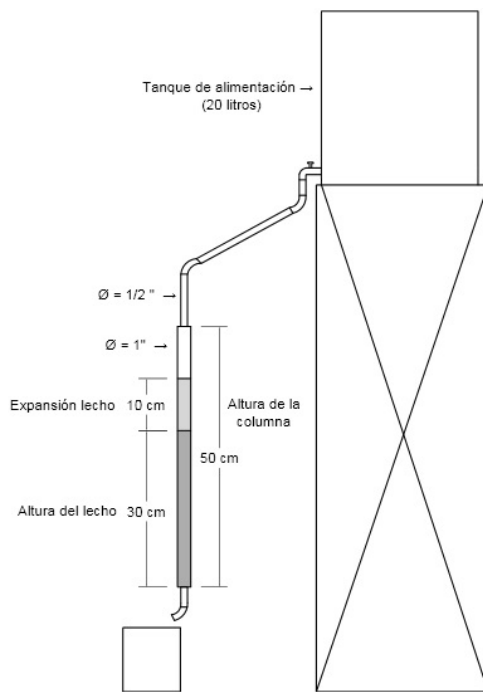


Fig. 1. Montaje columna de bioadsorción
Fuente: autores

Experimentación en columna. Concluida la construcción del sistema de bioadsorción, se hizo circular a través de la columna 2 litros de agua desionizada en un periodo de 24 horas, con el fin de lavar el material bioadsorbente; posteriormente, se hizo circular el afluente sintético, preparado a la concentración y pH óptimos encontrados en la prueba tipo batch. A la salida de la columna se tomaron muestras en función del tiempo, las cuales se almacenaron, preservaron y analizaron. El flujo a través de la columna se midió volumétrica-mente. Con los resultados obtenidos de las muestras se elaboró la curva de ruptura.

Desorción. Finalizado el ensayo de bioadsorción, la columna fue sometida al proceso de desorción (regeneración). Como regenerante se utilizó una solución de HCl 0,1M (Hernández, 2008; Martínez et al., 2006) cuyo volumen correspondió al 11% del efluente tratado de acuerdo con los antecedentes (Santander, Pávez& Ardiles, 2005). Luego de realizar el proceso de desorción se lavó el bioadsorbente con agua destilada.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Obtención del bioadsorbente.

Después de realizar el tamizado de las biomásas, se obtuvieron tres bioadsorbentes con tamaño de partícula entre 0.125 mm y 0.5 mm, rango que se estableció teniendo en cuenta los estudios realizados por Rabanal (2006) y Hernández (2008), los cuales determinaron que la bioadsorción se ve favorecida utilizando diámetros comprendidos entre 0.1 mm y 0.8 mm.

3.2. Estudios de bioadsorción en prueba tipo batch

Efecto del pH. De acuerdo con los datos obtenidos experimentalmente representados en el gráfico 1, donde se indica el porcentaje de remoción de Pb (II) respecto al pH para cada bioadsorbente, se pudo determinar que el pH que más favorece la bioadsorción en el caso de la elodea y la vaina de arveja es de 4, presentando remociones de 91 y 72,6% respectivamente. Para la borra de café la mayor remoción de Pb (II) se presentó a pH 7, la cual no superó los valores encontrados en los

dos bioadsorbentes anteriores con un 68,8%, valor que para efectos de este estudio no es significativo y por lo tanto fue descartado para las siguientes fases.

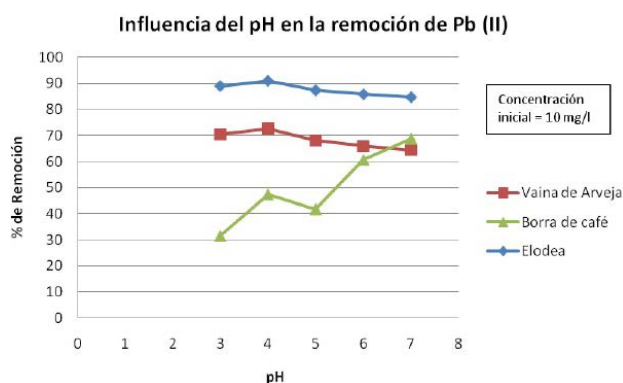


Fig. 2. Influencia del pH en la remoción de Pb (II) en una solución de concentración inicial: 10mg/l

Fuente: autores

Al observar la figura 2 Gráfico 1, se puede apreciar que para los bioadsorbentes elodea y vaina de arveja, la remoción en pH 3 fue ligeramente menor que a pH 4, esto pudo deberse a que en pH 3 la superficie del bioadsorbente estaba desprotonada casi en su totalidad, llegando a su máximo en pH 4 donde sus grupos funcionales con carga negativa (carboxilo, hidroxilo, sulfatos, fosfatos y amino) se encontraban más disponibles, permitiendo la unión con los iones de plomo (II) presentes en la solución. La unión de estos iones a los grupos funcionales, ha sido demostrada por diversos estudios recopilados por Kratochvil & Volesky (1998), donde se evaluó la influencia de los grupos funcionales presentes en hongos, plantas acuáticas y bacterias, concluyendo que estos, son los sitios de unión estratégicos en la superficie del bioadsorbente, cuando se hallan en un rango de pH de 3,5- 5,5. Cabe aclarar que según Lezcano (2009); Naja, Murphy & Volesky (2010) y Hernández (2008), a pH menor a 2, la bioadsorción de iones metálicos se ve inhibida a causa de la alta presencia de protones H^+ en la disolución, los cuales compiten por los centros activos en la superficie del bioadsorbente con los iones de plomo, a medida que aumenta el pH ocurre una desprotonación de la superficie que favorece la bioadsorción.

El comportamiento descendente de la remoción de Pb (II) después de pH 4 en elodea y vaina de arveja, teniendo en cuenta que la mayoría de metales pesados, precipitan a pH mayores a 5,5 (Kratochvil & Volesky, 1998), se dio por un posible aumento gradual de la precipitación del catión, formándose hidroxocompuestos como $Pb(OH)^+$, que pudieron afectar la distribución de los iones en la solución disminuyendo la eficiencia de bioadsorción (Lodeiro et al., 2005).

Los porcentajes de remoción de plomo (31,6 % a 68,8 %) en el bioadsorbente borra del café, se vieron afectados, posiblemente, por una obstrucción de los sitios de inserción por parte de los lípidos presentes en su pared celular, que no permitieron la unión de los iones plúmbicos, presentes en la solución a estos sitios; teniendo en cuenta, el contenido de grasas de la borra (26,32%) (Rodríguez, 2009), lo cual le atribuye un carácter lipídico y por ende hidrofóbico al bioadsorbente. Por otra parte, la tendencia a incrementar la remoción a medida que aumentaba el pH, lo cual lo hace diferente frente a los otros dos bioadsorbentes, figura 2, (ver Gráfico 1), pudo deberse a una liberación gradual de los sitios de unión a nivel de la superficie del bioadsorbente con el incremento del pH, gracias a que paulatinamente se hidrolizaron las grasas presentes en la pared celular de la borra, proceso que se completa a pH entre 8 y 9 (Lamarque, 2008).

3.3. Cinética de bioadsorción

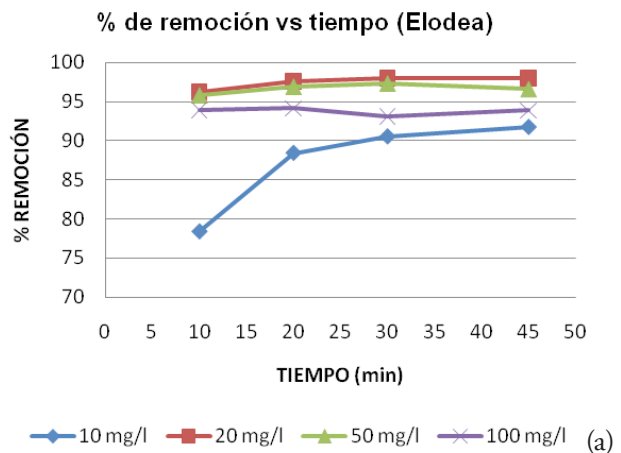
En la Tabla 1, se muestra la influencia de la concentración en la remoción de Pb (II) en función del tiempo para los bioadsorbentes, en donde se observa que la bioadsorción fue rápida en todas las concentraciones (10, 20, 50 y 100 mg/l Pb(II)), presentando en los primeros 10 minutos valores de remoción del metal entre 78,41% y 96,21% para el bioadsorbente elodea y entre 60,07% y 90,14% para vaina de arveja, alcanzando el equilibrio a los 30 minutos para la concentración de 20 mg/l en elodea y 100 mg/l en vaina de arveja, en las demás concentraciones no se alcanzó el equilibrio en el tiempo establecido de 45 minutos.

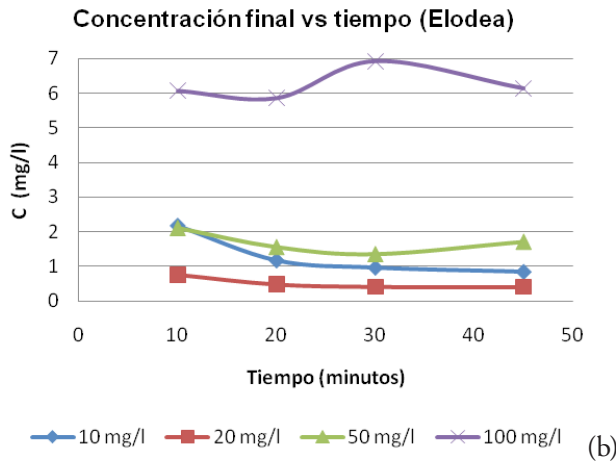
TABLA 1
 Resultados obtenidos para las diferentes concentraciones en función del tiempo.

Elodea								
Tiempo (min)	Concentración* mg/l vs %Remoción							
	10	%	20	%	50	%	100	%
10	2,16	78,41	0,76	96,21	2,10	95,80	6,07	93,93
20	1,16	88,41	0,48	97,61	1,56	96,88	5,86	94,14
30	0,95	90,51	0,41	97,96	1,36	97,28	6,92	93,08
45	0,83	91,71	0,40	97,99	1,71	96,58	6,14	93,86
Vaina de arveja								
Tiempo (min)	Concentración* mg/l vs %Remoción							
	10	%	20	%	50	%	100	%
10	1,07	89,26	2,58	87,08	19,96	60,07	9,86	90,14
20	1,79	82,06	2,00	89,98	7,97	84,05	11,46	88,54
30	2,80	71,96	1,41	92,93	6,91	86,17	18,96	81,04
45	1,87	81,26	1,27	93,63	5,68	88,63	18,96	81,04
*A todas las concentraciones finales se les resto el aporte del control de cada bioadsorbente: 0,091 mg/l elodea y 0,236 mg/l vaina de arveja								

Fuente: autores

La rapidez del proceso de bioadsorción pudo deberse principalmente, a que la fijación del metal se lleva a cabo a través de reacciones rápidas y reversibles que ocurren en la superficie del bioadsorbente y que tienen lugar en ausencia del metabolismo (Lezcano, 2009). Adicionalmente, las figuras 3 y 4, indican que para los bioadsorbentes elodea y vaina de arveja, la concentración de 20 mg/l fue la que presentó mayores porcentajes de remoción a los 45 minutos, con un 97,99 y 93,63% respectivamente. En esta concentración también es notable un descenso de la cantidad del metal a medida que aumenta el tiempo.





Fuente: autores

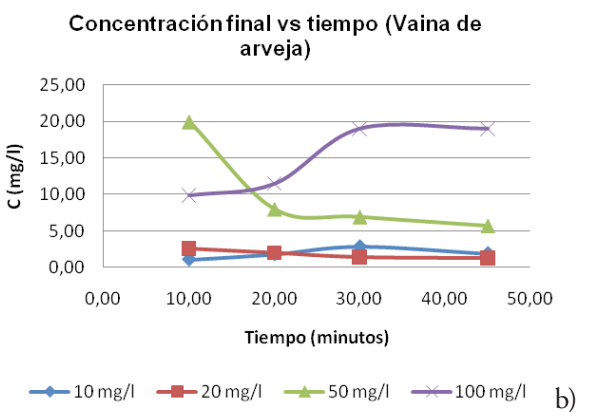
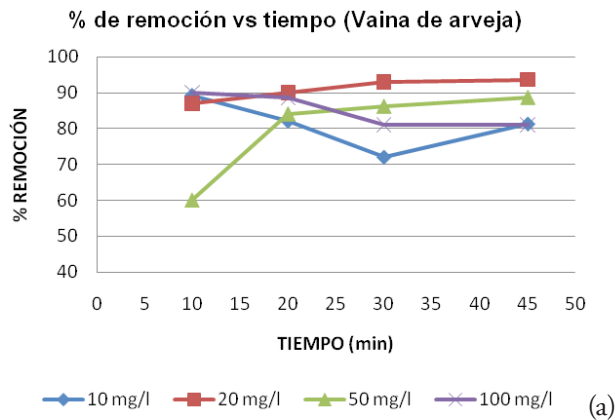


Fig. 3. Influencia de la concentración en la remoción de Pb (II) a través del tiempo (Vaina de arveja).

Fuente: autores

En la elodea, salvo pequeñas diferencias, todos los porcentajes de remoción están por encima del 90% lo cual refleja su alta eficiencia de remoción de Pb (II),

incluso a mayores concentraciones. En el caso de la vaina de arveja la mayoría de los valores no superan esta remoción, sin embargo, estos resultados pueden considerarse también altos.

Considerando los anteriores resultados, se estableció que la concentración óptima para la bioadsorción es de 20 mg/l a pH 4, a partir de la cual se elaboraron las isotermas de Langmuir y Freundlich, con el fin de determinar los parámetros que cuantifican el proceso.

- Isotermas de Langmuir y Freundlich

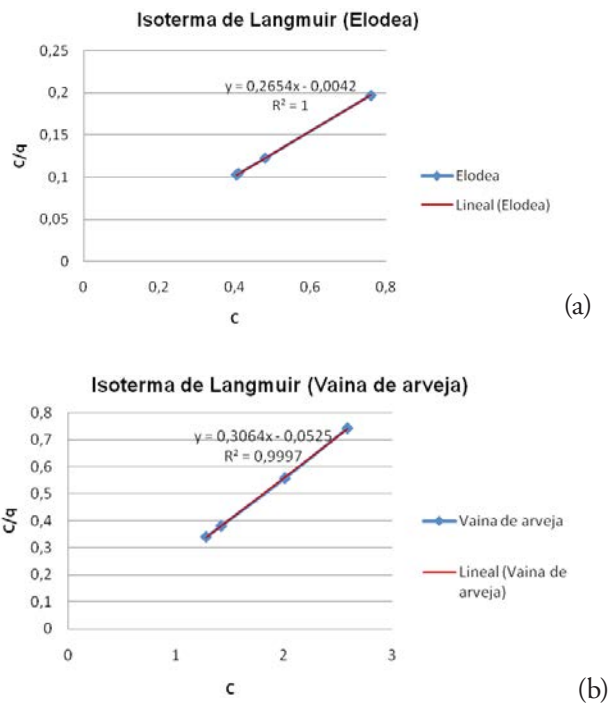


Fig. 4. Isoterma de Langmuir para la Elodea y vaina de arveja. Fuente: autores

A partir de la regresión lineal de los gráficos 4a y 4b se obtuvieron las constantes de Langmuir (q_{max} y K), encontrando que la capacidad de bioadsorción (q_{max}) para la elodea fue mayor respecto a la vaina de arveja, siendo de 3,768 mg de Pb (II)/g de bioadsorbente y 3,264 mg/g respectivamente, no obstante, la afinidad del bioadsorbente con el plomo (K) fue mucho mejor para la elodea que para la vaina de arveja presentando valores de 0,016 mg/l frente a 0,171 mg/l, teniendo en cuenta que entre más pequeño sea K , mayor es la afinidad (Lezcano, J. 2008; Volesky, B. 2003).

La isoterma de Freundlich se determinó para cada uno de los bioadsorbentes, con el fin de comparar el coeficiente de determinación de esta con la del modelo de Langmuir, el R^2 para el modelo de Freundlich, se determinó a partir de la regresión logarítmica de las figuras 5a y 5b.

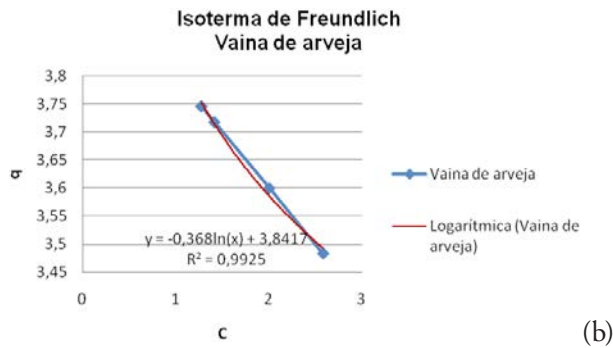
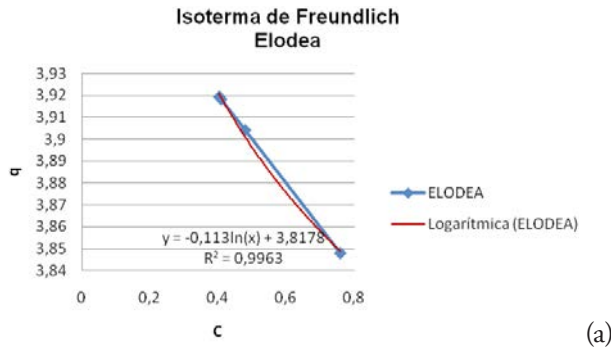


Fig. 5. Isoterma de Freundlich para la elodea y vaina de arveja.
Fuente: autores.

Los valores del coeficiente de determinación (R^2) que miden el grado de ajuste de los datos a los modelos de Langmuir y Freundlich para cada bioadsorbente, indican que los modelos se ajustaron perfectamente a los datos experimentales, siendo la elodea la que mejor se ajustó con un R^2 en Langmuir de 1 y 0,9963 en Freundlich y la vaina de arveja 0,9997 y 0,9925 respectivamente. Los coeficientes de determinación en el modelo de Langmuir, indican que la variación de los valores de la relación C/q son explicados perfectamente por C , para ambos bioadsorbentes (100% elodea y 99,97% vaina de arveja); en cambio, en Freundlich la variación de los valores de q se explica

casi en su totalidad por la variable independiente (C) (99,63% elodea y 99,25%). Con base en el alto grado de ajuste que presentaron los modelos, se puede afirmar que la ecuación de regresión obtenida, sirve de herramienta para efectuar predicciones y estimaciones del comportamiento de la bioadsorción para los bioadsorbentes estudiados.

3.4. Experimentación en columna

Para el estudio de columna se utilizó como bioadsorbente la elodea ya que presentó los mayores porcentajes de remoción de plomo y se trabajó con los parámetros óptimos seleccionados en las pruebas anteriores (pH 4 y concentración de 20 mg/l).

Partiendo del valor de q_{max} (3,768 mg Pb(II)/g bioadsorbente), obtenido en la isoterma de Langmuir para elodea a una concentración afluente de 20 mg/l y de la masa de lecho empacado (40 gramos de bioadsorbente elodea), se definió el volumen de agua a tratar, el cual dio un valor de 7,5 litros, cantidad aproximada necesaria para llegar al punto de saturación. En este sentido, se hizo pasar a través de la columna, el volumen de afluente sintético estimado a una concentración inicial (C_0) de 20 mg/l de plomo (II) a pH 4, durante 40 horas; con un caudal (Q) constante de 189 ml/h, medido volumétricamente, y a una velocidad de 38,50 cm/h. En el transcurso de la experimentación en columna, se pudo notar que el lecho se expandió 10 cm, debido, probablemente, a la capacidad de las partículas del bioadsorbente elodea para absorber agua, lo que implica que el diámetro de partícula aumente; esta característica, resulta ser importante para futuros diseños de columna, ya que se hace necesario dejar un espacio libre al interior de la misma que permita la expansión del lecho.

La Tabla 2, muestra los datos obtenidos a partir de la experimentación en columna, producto de la medición de la concentración final (C) en función del tiempo (t).

TABLA 2

Datos obtenidos a partir de la experimentación en columna.

Tiempo (horas)	C (mg/l)	Co (mg/l)	C/Co
4	0,049	20	0,0025
8	0,049		0,0025
12	0,049		0,0025
16	0,049		0,0025
20	0,049		0,0025
24	0,049		0,0025
28	0,066		0,0033
30	0,100		0,0050*
32	0,133		0,0067
36	0,202		0,0101
40	0,287		0,0144

* Punto de ruptura, hallado por interpolación.
Fuente: autores

El punto de ruptura para este ensayo, se estableció como $C_R/Co = 0,005$, para una concentración de ruptura (C_R) de 0,1 mg/l (ver tabla 2); teniendo en cuenta, que este valor es el límite máximo permisible para plomo en aguas residuales, fijado en las normas: la resolución 3957 de 2009 y la resolución 631 de 2015. El tiempo de ruptura (t_R), se halló por interpolación de los datos de la Tabla 2, resultando un $t_R = 30$ horas. La figura 6, representa la curva de ruptura, donde la relación de concentraciones (C/Co) se grafica en función del tiempo; en esta se observa que en un tiempo dado de 24 horas, cuando casi la mitad del lecho está saturada de soluto (Geankoplis, C. 1999), la concentración de salida sigue siendo menor a 0,049, hasta que la zona de transferencia de masa empieza a llegar a la salida de la columna a las 28 horas. Entonces, la concentración de salida empieza a elevarse, y a las 30 horas, llega al punto de ruptura (C_R/Co). Después de que se alcanza dicho punto, la concentración final (C), tiende a elevarse progresivamente en los tiempos 32, 36 y 40 horas; presentándose concentraciones de 0,133 mg/l; 0,202 mg/l y 0,287 mg/l de Pb (II) respectivamente.

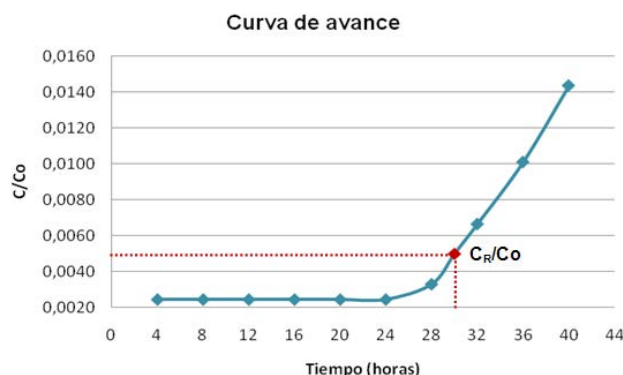


Fig. 6. Curva de avance, para la columna empacada con elodea.
Fuente: autores

El valor del punto de ruptura, resulta ser de gran importancia en la toma de decisiones, en vista de que a partir de este punto, las concentraciones de salida aumentan sobrepasando el límite máximo permisible (0,1mg/l), lo que permitiría definir, en qué momento se debe interrumpir el flujo y trasladar el afluente a otro lecho fresco o regenerado, o bien recircular el efluente, aunque este último, no es recomendado teniendo en cuenta que en este punto la mayor parte de la capacidad del lecho ha sido usada (Ibid. p. 779).

Para efectos de este ensayo, no fue posible alcanzar el punto de saturación del lecho bioadsorbente elodea, probablemente, a que la naturaleza de los datos estimados pueden ser inexactos a causa de muchas incertidumbres, debidas a los patrones de flujo (pistón, slug, burbuja, transición y anular), la dispersión axial del fluido (distribución del flujo al interior del lecho) y la resistencia a la transferencia de masa por parte del lecho (McCabe, W.; Smith, J. y Harriot, P. 2007); lo que pudo llevar a un aumento del tiempo de saturación (>40 horas) y por ende sería necesario tratar mayor cantidad de afluente.

3.5. Desorción.

Finalizado la experimentación en columna, se realizó la desorción durante 4,3 horas aproximadamente, utilizando como desorbente 825 ml de HCl 0,1 M, correspondientes al 11% del efluente tratado (7,5 litros), obteniendo una remoción del 60,6% de plomo retenido en el lecho. Lo cual indica que el volumen de desorbente empleado en este ensayo, no fue suficiente

para lograr una remoción del 100%. No obstante, este porcentaje de remoción, indica que este desorbente podría aumentar su eficiencia, incrementando el volumen del mismo.

4. CONCLUSIONES

En la prueba tipo batch para la evaluación del pH, se comprobó que el pH óptimo encontrado para los bioadsorbentes elodea y vaina de arveja fue 4, presentando porcentajes de remoción del orden de 91% y 72,6% respectivamente. En la evaluación de la concentración, se encontró que a 20 mg/l la elodea presentó una mejor remoción (97,99%) frente a la vaina de arveja (93,63%) a los 45 minutos.

En la experimentación en columna, el punto de ruptura ($C_R/C_0 = 0,005$) se alcanzó en un tiempo de 30 horas, para una concentración de ruptura (C_R) de 0,1 mg/l, a partir de este punto, la concentración de salida aumentó paulatinamente, pero no se alcanzó el punto de saturación a las 40 horas como se había estimado con los datos de qmax.

El Pb (II) retenido en el lecho, fue desorbido en un 60,6% utilizando como desorbente 825 ml HCl 0,1M, mostrando que este volumen no fue suficiente para remover el 100% del metal.

En este estudio se demostró que la elodea es un bioadsorbente efectivo para la remoción de Pb (II) presente en aguas contaminadas, lo que podría convertirlo en una alternativa novedosa y viable para el tratamiento de aguas industriales.

REFERENCIAS

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2007), Toxicological Profile for Lead, Department of Health and Human Services, pp. 29-47. USA.

Cañizares, R. (2000), Bioadsorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana., Revista Latinoamericana de Microbiología, vol. 42, pp. 131-143.

Geankoplis, C. (1999), Procesos de transporte y operaciones unitarias., Ingra Mex. S.A. (ed.), México, pp. 773-783.

GUERRERO, J. (2001). Tratamiento de aguas residuales. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a distancia (UNAD), pp. 630 – 665.

Hernández, A., Miralles, N. (2008). Influencia del tamaño de partícula en la bioadsorción de plomo con raspo de uva., tesis presentada a la Universidad Politécnica de Cataluña, para optar al grado de maestría.

Instituto Colombiano de Normalización y Certificación. (1997), Gestión ambiental, Calidad del agua: determinación de Co, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb. Métodos espectrométricos de absorción atómica de llama., NTC 4254, Bogotá D.C, pp. 2-10 p.

International Lead and Zinc Study Group (ILZSG). (2010), End uses of lead and zinc.

International Programme on Chemical Safety (IPCS). (1995), Environmental Health Criteria 165: Inorganic Lead, Geneva, World Health Organization (WHO).

Kratochvil, D., Volesky, B., (1998), Advances in the biosorption of heavy metals, Journal Trends in Biotechnology, vol. 16, No. 7, pp. 291-300.

Lamarque, A., (2008), Fundamentos teórico-prácticos de química orgánica, Brujas (ed.), Argentina, pp. 116.

Lezcano, J., (2008), Efecto del pretratamiento de biomasa procedente de un hábitat eutrofizado sobre la bioadsorción de metales pesados, tesis presentada a la Universidad Complutense de Madrid, para optar al título de Doctor en Biología.

Lodeiro, P, Cordero, B., Barriada, J.L., Herrero, R., Sastre de Vicente, M. E., (2005), Biosorption of cadmium by biomass of brown marine macroalgae, Journal Bioresource Technology, Vol. 96, No. 16, pp. 1796-1803.

Martínez, M., Miralles, N., Hidalgo, S., Fiol, N., Villaescusa, I., Poch, J., (May. 2006), Removal of lead (II) and cadmium(II) from aqueous solutions using grape stalk waste, Journal of Hazardous Materials. Vol. 133, No. 3, pp. 203-211.

McCabe, W., Smith, J., Harriot, P., (2007), Operaciones unitarias en ingeniería química. 7 ed. McGraw Hill, México, pp. 880-897.

Naja, G., Murphy, V., and Volesky, B., (2007), Biosorption, metals, Journal Wiley Encyclopedia of Industrial Biotechnology, pp. 2 - 48.

Rabanal, M., (2006). Estudio de la biosorción de Co (II) por el alga marina *Macrosystis pyrifera*., tesis presentada a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, para optar al título de químico. Lima.

Rodríguez, A., Letón P, Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., Sanz J.M., (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Madrid, España., Universidad de Alcalá. Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME), pp. 24–26.

Rodríguez, N., (2009), Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrofitas acuáticas., tesis presentada a la Universidad politécnica de Valencia, para optar al grado de Doctor.

Santander, M., Pávez, O., Ardiles A., (2005). Bioadsorción de Iones Cobre en Biomasa Vegetal Deshidratada, Revista de la facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama. Vol. 19, pp. 11-15.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (2005). Lead in Paint, Dust and Soil Recent. United States., EPA.

Volesky, B., (1990), Biosorption of Heavy Metals. CRC Press (ed.), Florida, pp. 3-65.

Volesky, B., (2003), Sorption and Biosorption. BV-Sorbex, Inc (ed.), Montreal, Canada, pp. 103-115.

Revista Publicaciones e Investigación

DESCRIPCIÓN GENERAL

La Revista Especializada en ciencia, tecnología e ingeniería, órgano de divulgación científica de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD, tiene una periodicidad de publicación semestral; publica artículos originales evaluados bajo la modalidad de pares doble ciego en temas de las diferentes áreas de la ciencia, tecnología e ingeniería.

La Revista tiene como objetivo facilitar la divulgación del conocimiento científico y aplicado en temas de ingeniería; así como incentivar la visibilidad e impacto de la investigación desarrollada en el ámbito nacional e internacional en las áreas de la ingeniería de: *Sistemas, Electrónica, Redes, Química, Industrial, Audio, Biomateriales y Alimentos entre otras*, manteniendo como propósito la construcción de redes de conocimiento.

Para efectos de publicación, se reciben las siguientes clases de documento:

- Artículos resultados de avance parcial o final de proyectos de investigación en el área de la ingeniería o, en el desarrollo de herramientas pedagógicas para la enseñanza de la ingeniería.
- Artículos de reflexión, documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor sobre un tema específico.
- Estados del arte o artículos de revisión, definido por Colciencias como aquél escrito que sistematiza y analiza los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo del conocimiento.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ARTÍCULOS

Los artículos sometidos a publicación deben ser originales o inéditos, no estar postulado para publicación simultáneamente en otras revistas y se debe entregarse con carta donde conste la originalidad, firmada por los autores.

POSTULACIÓN DEL ARTÍCULO

El envío de su artículo se efectuará por correo electrónico a la dirección: **publicaciones.investigacion@unad.edu.co** con la sesión de derechos y la hoja de vida de los autores en los formatos establecidos para tal fin.

Los artículos producto de investigación no deben exceder de 12 páginas y los review de máximo 20 páginas tamaño carta, a espacio sencillo con márgenes de 3.0 cm a cada lado, fuente para todo el artículo Times New Roman, tamaño 11 puntos y bajo las normas Harvard establecidas.

PROCESO DE EVALUACIÓN

La evaluación, revisión, dictamen o arbitraje de los artículos postulados para publicación deben cumplir las siguientes indicaciones:

- Todo original será sometido al proceso de dictamen, bajo la modalidad de pares doble ciego y una valoración preliminar por el Comité Editorial de la Revista, con el fin de calificar el documento, en cuanto a forma, contenido y cumplimiento de normas de publicación.
- Posterior a esto se enviará el artículo a dos pares ciegos especialistas en el área del artículo. Una vez evaluado y aprobado el documento, se remitirá a los autores para que se realicen las correcciones o aclaren aspectos surgidos del proceso de evaluación.
- El documento debe ser devuelto con los ajustes, para continuar con el proceso de corrección de estilo y posterior edición.
- En el eventual caso de amplias discrepancias en los resultados de la evaluación, el Comité Editorial tomará la decisión final de aceptación o rechazo del mismo. La aceptación definitiva dependerá de las modificaciones que los pares evaluadores propongan al autor y el concepto del Comité Editorial.
- El Comité Editorial se reserva el derecho de introducir modificaciones formales, necesarias para adaptar el texto a las normas de publicación. De no ser aprobado el artículo en la evaluación preliminar o en la evaluación por pares ciegos, se comunicará a los autores la decisión y los motivos de rechazo de la comunicación.

OPEN JOURNAL SYSTEM

Consulte on-line la revista en

<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion>

Instrucciones para presentar artículos

Los artículos producto de investigación deben tener máximo de 12 páginas y los review máximo 20 páginas tamaño carta, a espacio sencillo con márgenes de 3.0 cm a cada lado, fuente para todo el artículo Times New Roman, tamaño 11 puntos y bajo las normas Harvard.

1. CONTENIDO EL DOCUMENTO

El artículo contiene unos aspectos formales para su presentación relacionados a continuación:

1.1. Título

El título principal del artículo debe estar en español e inglés; Fuente Times New Roman tamaño 14.

1.2. Detalles del Autor(es)

El nombre del autor o Autores debe estar escrito de acuerdo a la forma de citación orcid, centrado, fuente tamaño 11 puntos y negrilla.

1.3. Filiación del Autor(es)

La Universidad o entidad de afiliación, Escuela, Ciudad y País en fuente tamaño 11 puntos y cursiva, los correos y el orcid en tamaño 10 puntos en fuente tipo Courier; Entidad que financia el proyecto (de existir).

1.4. Resumen

El resumen se debe presentar en español e inglés: que no exceda 250 palabras y que describa sistemáticamente el contenido del artículo.

1.5. Figuras y Tablas

Las figuras y tablas deben estar centradas en la columna. Si la figura es muy larga, se puede extender hasta ocupar el espacio de las dos columnas. Cualquier figura o tabla que se extienda más de una columna, pero no ocupe el espacio de las dos columnas debe estar centrada

Los gráficos deben estar en color, de preferencia utilice colores estándar (rojo, azul, verde, amarillo) de manera que puedan ser reproducidos en cualquier sistema, las fotografías deben estar en jpg tif ,eps ps,. png.)

Toda figura debe acompañarse de un título en letra de tamaño de 9 puntos, que inicia con

la abreviatura “Fig.” para indicar “Figura” y un número de secuencia.

El nombre de la figura se utiliza centrado en la columna, o página si la figura se extiende fuera de la columna. Si la descripción se extiende más de una línea, se debe mostrar de forma justificada, como en Fig. 1.

1.6. Palabras clave

Las palabras clave deben estar en español e inglés y cursiva, máximo diez palabras clave que den una idea de los temas fundamentales que se encuentran en el artículo. Estas palabras deben ir ordenadas alfabéticamente separadas por comas. Para estandarizar las palabras clave se sugiere buscarla en el siguiente hipervínculo, https://www.ieee.org/documents/taxonomy_v101.pdf



Fig. 1 El ejemplo de un gráfico con colores sólidos que resaltan sobre el fondo blanco.

1.7. Tablas

El título y contenido de las tablas en tamaño 9 puntos.

TABLA 1
Tamaño y fuentes para artículos

Tamaño	Fuente (Times new Roman)		
	Regular	Negrita	Cursiva
14	TÍTULO DEL ARTICULO	negrita	
11	Nombre del autor	negrita	
11	Filiación de los autores		cursiva
10	Correo electrónico (fuente Courier)		
11	Contenido	(Times new Roman)	
11	TITULOS	negrita	
11	Subtítulos	negrita	cursiva
11	Resumen	Cuerpo del Resumen	
11	<i>Abstrac</i>	<i>Cuerpo del abstrac cursiva</i>	cursiva
9	Título de figuras	Negrita solo Fig. No	
9	Título y contenido de tablas	Minúscula negrita solo Tabla No.	negrita
9	Referencias bibliograficas	Referencias	

1.8 Aspectos formales y estructura del artículo

1.8.1 Introducción

En esta sección se incluye una presentación general del tema, lo que el experimento o estudio intenta demostrar; la hipótesis con relación al estado del arte, se debe presentar una visión general de los resultados obtenidos. Problema de investigación y método: planteamiento del problema de investigación y síntesis del enfoque metodológico. Técnicas y estrategias de recolección y análisis de la información (según el caso).

1.8.2 Desarrollo de contenido

En esta sección se desarrollan los contenidos del tema de manera ordenada y secuencial con letras mayúsculas.

Subtítulos

En esta sección se describen temas detallados que forman parte del título principal

Estilo del artículo

El artículo debe presentarse a dos columnas

Viñetas

Si es necesario el uso de viñetas debe utilizarlas siguiendo las instrucciones

- Cuando desea mencionar varias cosas dentro de un tema de un subtítulo
- Cuando necesite crear niveles en una sección utilice las siguientes normas

Primer Nivel. El primer nivel corresponde al de título, por tanto debe estar centrado, numerado con números arábigos y todas las letras en mayúscula.

Segundo Nivel. Un segundo nivel corresponde al subtítulo. Deben estar numerados usando números arábigos seguido por un punto y alineados a la izquierda y en cursiva.

Tercer nivel. Un tercer nivel es el número del título, seguido por el número del subtítulo y el número que corresponda en el nivel separados por comas. Utiliza letra cursiva y negrita, con números arábigos. El cuerpo del ítem debe estar inmediatamente después del encabezado, sin saltos de línea.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados deben ser presentados objetivamente en forma de gráficos y/o tablas, de ser posible en forma comparativa. Según sea el caso del tipo de artículo.

3. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Lo principal de esta sección es presentar los principales resultados, fundamentados en los objetivos y en la teoría, deben manejarse como enunciados cortos.

RECONOCIMIENTOS

Esta sección no es de carácter obligatorio obligatoria y se coloca los agradecimientos a personas que colaboraron en el desarrollo del proyecto pero que no figuran como autores. No debe ir numerado.

REFERENCIAS AL FINAL DEL TEXTO

Esta sección no debe tener numeración y todas las referencias se hacen en letra de 9 puntos La lista de las obras citadas se incluye al final del artículo. Se debe referenciar en orden alfabético, según la guía de Norma Harvard <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion>

LISTA DE AUTORES

LIST OF AUTHORS



	PAG.
Carlos Eduardo Mesa	87
Carol J. Aguilar	35
Gabriel E. Chanchí	35
Gustavo A. Araque	73
Ivette Kafure Muñoz	11, 23
Jayerth Guerra Rodríguez	101
Jennyfer Garzón Gutiérrez	101
Jorge Luís Barreto-Pereira	11
Liliana Espinosa-Ramírez	51
Lyda Vega Gabriel-Rivera	73
María I. Vidal	35
Marilú García-Soto	51
Maritza La Rotta La Rotta	101
Miguel Ángel López-Cacho	65
Martha C. Ospina	73
Nancy Edith Ochoa G	87
Rosa Catalina Hernández Gómez	101
Sylvana Karla da Silva de Lemos-Santos	23

