

Neural signal capture with Brain-Computer Interface to estimate the level of emotional variables in the usability of books with augmented reality

Mauricio Rojas Contreras, Msc.¹, Cesar Augusto Peña Cortes, Phd²., Sandra Milena Cañas, Ing.(c).³

¹ Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, mrojas@unipamplona.edu.co

² Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, cesarapc@unipamplona.edu.co

³ Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia, sam.icar@hotmai.com

Abstract— This study analyzes the degree of acceptance of emotional variables through neuroseñales to the extent of the usability of books with augmented reality. The research was carried out with students of the subject data structure and algorithms of the Faculty of Engineering and Architecture of the University of Pamplona (Colombia). The information of the emotional variables was captured through a low-cost commercial brain-computer interface in an experiment in which students interacted with a book with augmented reality designed for the subject. The analysis of this type of neuroseñales allows to improve the level of usability indicators of books with augmented reality by obtaining quantitative measures that can be used in the software development process with augmented reality.

Keywords—neuro signals, emotional variables, usability, augmented reality, AR books.

igital bject dentifier()
http dx.doi.org . ACCE . . . 79
97 -9 - 2071- -1 2 1 - 390

Captura de neuroseñales con Interfaz Cerebro-Computador para estimar el nivel de variables emotivas en la usabilidad de libros con realidad aumentada

Mauricio Rojas Contreras, Msc.¹, Cesar Augusto Peña Cortes, Phd²., Sandra Milena Cañas, Ing.(c).³

¹ Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, mrojas@unipamplona.edu.co

² Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, cesarapc@unipamplona.edu.co

³ Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia, sam.icar@hotmail.com

Abstract— Este estudio analiza el grado de aceptación de variables emotivas a través de neuroseñales en la medida de la usabilidad de libros con realidad aumentada. La investigación se llevó a cabo con estudiantes de la asignatura estructura de datos y algoritmos de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad de Pamplona (Colombia). La información de las variables emotivas se capturó por medio de una interfaz cerebro-computador comercial de bajo costo en un experimento en el cual los estudiantes interactuaban con un libro con realidad aumentada diseñado para la asignatura. El análisis de este tipo de neuroseñales permite mejorar el nivel de los indicadores de usabilidad de libros con realidad aumentada al obtener medidas cuantitativas que pueden ser utilizadas en el proceso de desarrollo de software con realidad aumentada.

Keywords—neuroseñales, variables emotivas, usabilidad, realidad aumentada, libros AR

I. INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada (RA) se está convirtiendo en una tecnología emergente con gran potencial de uso en el sector educativo [1],[2],[3], y en el sector del entretenimiento educativo [4] integrando elementos reales con elementos virtuales a través de una aplicación computacional. Una de las instancias de aplicaciones de la realidad aumentada en educación superior son los libros con realidad aumentada o libros AR. Los libros AR se pueden definir como libros físicos enriquecidos con aplicaciones computacionales a las cuales se acceden a través de imágenes denominadas marcadores. Estos libros se han utilizado en diferentes niveles de educación, particularmente en educación superior se encuentran escenarios en los cuales se utilizó este tipo de recursos para mejorar la motivación hacia el aprendizaje de conceptos complejos, por ejemplo [5] diseñaron e implementaron un libro AR para mejorar la motivación hacia el aprendizaje de conceptos de mecánica en alumnos de ingeniería. Sin embargo, el proceso de verificación de mejora de la motivación hacia el aprendizaje con la utilización de libros AR en educación superior se ha dificultado, argumento que fundamenta la utilización de una interfaz cerebro computador para capturar variables emotivas de los alumnos en el escenario

de interactuar con los libros AR. Una interfaz cerebro computador (ICC) se define como un sistema de comunicación o control que se basa en ondas cerebrales (electroencefalograma - EEG) generadas conscientemente para controlar un mecanismo real o virtual [6]. Las ICC han evolucionado a través del tiempo y en forma complementaria se puede acceder a este tipo de dispositivos a precios razonables, entre los modelos que se encuentran en el mercado se encuentran MindFlex de Mattel [7], MindSet de NeuroSky [8], Muse de InteraXon [9] y el Emotiv Insight. El dispositivo Emotiv provee, además de las señales cerebrales medidas directamente de los sensores, seis medidas básicas de desempeño mental estimadas directamente a partir de la actividad cerebral: Compromiso (Engagement), Interés (Interest), Excitación (Excitement), Enfoque (Focus), Estrés (Stress) y Relajación (Relaxation)[10].

En este trabajo se pretende cuantificar el nivel de compromiso, interés, excitación, enfoque, estrés y relajación de un grupo de estudiantes de Ingeniería al interactuar con un Libro AR. Las medidas de las variables emotivas se capturan a través del dispositivo Emotiv Insight.

El artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2, se presenta una visión general del proceso de captura de señales emotivas a través de un ICC; en la sección 3 se presentan los fundamentos de la realidad aumentada; en la sección 4 se describen los resultados de la investigación; finalmente, en la sección 5, se presentan las conclusiones del trabajo.

II. PROCESO DE CAPTURA DE SEÑALES EMOTIVAS A TRAVÉS DE UN ICC

El proceso de captura de señales emotivas se lleva a cabo a través del uso de dispositivos con interfaces ICC (Interfaz cerebro computador) los cuales procesan y capturan señales eléctricas emitidas por el cerebro permitiendo estimar algunos datos del usuario, dentro de los cuales se pueden destacar tres categorías: referencias emotivas, expresivas y algunos datos cognitivos. Debido a la disminución en el costo de estos

dispositivos se han aumentado las investigaciones en distintas áreas como el marketing con el análisis de pautas publicitarias o en la educación para detectar problemas que tengan los estudiantes en su estilo de aprendizaje. Han sido de gran aceptación ya que proporciona información sobre la actividad cerebral inconsciente de la persona que es donde surge la mayoría de la toma de decisiones para llevar a cabo ciertas acciones.

En la fig.1 se observa el dispositivo Emotiv Insight que posee cinco sensores de polímero hidrófilo, que se refiere a que no debe ser humedecido para que las ondas se transmitan. Facilita las medidas básicas de desempeño mental en variables como: Compromiso, estrés, interés, foco, relajación y excitación. Adicionalmente, existen otras herramientas que incorporan el uso de un casco EPOC y Neurosky MindWave [10].



Fig. 1 Auriculares Emotiv Insight. Fuente: <https://www.emotiv.com/insight/>

Este dispositivo proporciona un software capaz de analizar seis 6 medidas de estado mental, las cuales se definen a continuación:

Interés

Grado de atracción o rechazo de la actividad que se está ejecutando.

Compromiso

Requiere los procesos de atención y concentración en conjunto y adicionalmente mide qué tan inmerso se encuentra el usuario en el experimento.

Estrés

Mide el grado de comodidad que se presenta en el experimento.

Relajación

Capacidad que tiene el cerebro de alcanzar un estado tranquilo.

Excitación

Grado de entusiasmo emocional y de alerta que se presenta mental y físicamente.

Concentración

Grado de atención que se mantiene en una tarea fijamente.

En forma específica, el procedimiento utilizado en este trabajo de investigación fue el siguiente:

Se solicitó a una muestra representativa de estudiantes del curso de Estructuras de datos y Algoritmos leer el primer capítulo del libro tradicional “Estructuras de datos dinámicos: El reto de aprender a través de un libro AR” y responder un instrumento sobre el contenido del capítulo. En forma paralela, cada uno de los estudiantes se le configuró el dispositivo Emotiv Insight con el fin de capturar las señales emotivas durante el experimento.

En una segunda sesión, se solicitó a cada uno de los estudiantes que participaron en la primera sesión leer e interactuar con el capítulo 1 del libro AR “Estructuras de datos dinámicos: El reto de aprender a través de un libro AR” y responder un instrumento sobre el contenido del capítulo. En forma paralela, cada uno de los estudiantes se le configuró el dispositivo Emotiv Insight con el fin de capturar las señales emotivas durante el experimento.

III. REALIDAD AUMENTADA

De acuerdo con [11], se entiende la realidad aumentada como una combinación visual de elementos reales y virtuales que interactúan entre ellos. En forma complementaria, la realidad aumentada se puede sintetizar como estar en un entorno real en el que se van a incluir elementos virtuales que lo enriquezcan.

Por otro lado, desde la perspectiva de [12], se entiende la realidad aumentada como “la generación de imágenes nuevas a partir de la combinación de información digital en tiempo real y el campo de visión de una persona”; es decir, trae a la realidad la información virtual ya programada creando en el usuario la impresión de que lo virtual, puede estar presente en su mundo real.

A manera de integración de las definiciones previas, los autores asumen la postura de que la realidad aumentada es un

escenario de integración visual de elementos reales y virtuales, a los cuales se acceden a través de imágenes enfocadas con un dispositivo de tipo Smartphone o Tablet. De acuerdo con la postura anterior, para que un producto de realidad aumentada funcione se necesitan los siguientes elementos:

- Elemento que capture las imágenes de la realidad (cámara de Smartphone o tablet o PC).
- Elemento donde se proyectan las imágenes reales con las virtuales (pantalla de smartphone o tablet o PC).
- Elemento de procesamiento el cual interpreta la información que recibe el usuario del mundo real, genera la información virtual según los requerimientos del software y mezcla lo real con lo virtual (software o hardware de un pc).
- Elemento para activar la AR ya sea GPS o marcadores de tipo RFID o códigos bidimensionales (QR) o cualquier elemento que sea capaz de suministrar una información equivalente a la que proporcionaría lo que ve el usuario.

A. Proceso de funcionamiento de la realidad aumentada.

El proceso que se lleva a cabo en el momento de integrar los elementos reales con los elementos virtuales es el ilustrado en la Fig. 2. En forma específica, se observa al elemento que captura las imágenes en tiempo real, después el marcador o elemento que activa la AR, posteriormente dicho marcador es identificado orientándolo en un espacio tridimensional, después el marcador se asocia a la aplicación de software desarrollada y por último se muestra la interfaz de la aplicación desde la cual el usuario puede interactuar con el software.

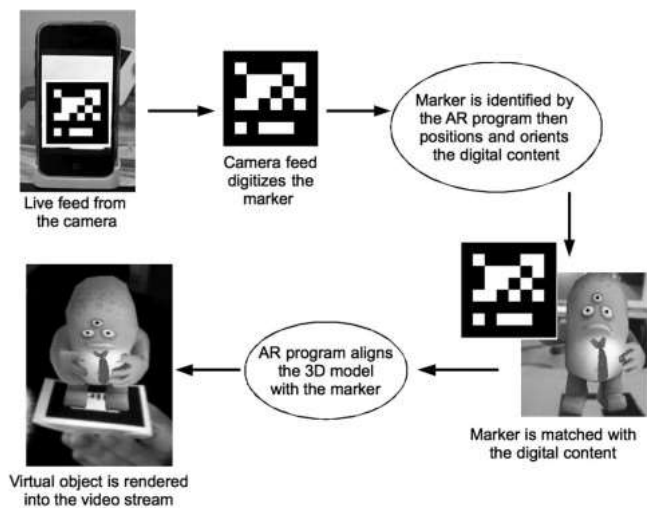


Fig. 2. Funcionamiento de AR. [13]

B. Niveles de la realidad aumentada

La realidad aumentada cuenta con diferentes niveles clasificados según la complejidad y las tecnologías que implementan. Desde el punto de vista de [14], la realidad aumentada se puede categorizar en cuatro niveles (de 0 a 3):

- Nivel 0: Enlazado con el mundo físico en donde se escanea un marcador con el dispositivo y la aplicación redirige a una página web que contiene información del producto escaneado.
- Nivel 1: AR con marcadores, a diferencia del anterior después del reconocimiento del marcador se muestra un objeto 3D en el dispositivo.
- Nivel 2: AR sin marcadores donde las imágenes virtuales se superponen en las imágenes reales. Este nivel abarca el uso de marcadores por GPS donde se determina la localización del usuario para superponer “puntos de interés” sobre imágenes del mundo real.
- Nivel 3: Visión aumentada. Se refiere a dispositivos como Google Glass que son lentes de alta tecnología que permite al usuario tener una experiencia inmersiva y personal.

C. Libros con realidad aumentada (Libros AR)

Una de las aplicaciones de la realidad aumentada en la educación son los libros AR, los cuales se caracterizan porque mantienen las características del libro tradicional enriqueciéndolo con elementos virtuales integrados a través de estrategias como el acceso a aplicaciones computacionales desde imágenes utilizadas como marcadores. En forma complementaria, a través de la realidad aumentada se pueden integrar contenidos digitales a los libros tradicionales de tal manera que un usuario del libro puede enriquecer su proceso de aprendizaje accediendo a videos, audios, presentaciones o aplicaciones interactivas.

D. Libros AR en educación superior

Los libros AR han sido utilizados en los diferentes niveles de educación; en forma particular, en educación superior se han realizado estudios que tienen como alcance el aprendizaje de conceptos más complejos. Por ejemplo [5] describen el uso de un libro AR para mejorar la motivación hacia el aprendizaje de conceptos de mecánica en alumnos de ingeniería. En cuanto a efectos en el aprendizaje, se han documentado estudios relacionados con mejoras en la retención cognitiva de los estudiantes en áreas como las habilidades espaciales, abordajes conceptuales y habilidades lingüísticas. [14],[15],[16],[17],[18].

IV. CAPTURA DE NEUROSEÑALES EN LA LECTURA E INTERACCIÓN CON LIBROS AR

El experimento utilizado para la captura de señales emotivas a través de una interfaz ICC se configuró de la siguiente manera:

Para cada uno de los estudiantes de la muestra intencional se utilizó el siguiente procedimiento:

Fase 1: Lectura texto tradicional

1. Adecuación, configuración de sensores y calibración del dispositivo Emotiv Insight en el estudiante.
2. Se solicitó al estudiante leer el primer capítulo del libro tradicional “Estructuras de datos dinámicos: El reto de aprender a través de un libro AR” y responder un instrumento sobre el contenido del capítulo. (Lectura del libro tradicional).
3. Captura de niveles de señales emotivas de cada estudiante y descarga desde la app del dispositivo.
4. Segmentación de los niveles de las señales emotivas de acuerdo a la actividad, con el fin de segmentar las medidas cuando el estudiante estaba interactuando con el libro texto tradicional y cuando estaba respondiendo el instrumento.

Fase 2: Lectura e interacción Libro AR

1. Adecuación, configuración de sensores y calibración del dispositivo Emotiv Insight en el estudiante.
2. Se solicitó al estudiante leer e interactuar con el primer capítulo del libro AR “Estructuras de datos dinámicos: El reto de aprender a través de un libro AR” y responder un instrumento sobre el contenido del capítulo. (Lectura e interacción con el libro AR).

Fase 3: Análisis comparativo de las medidas de las señales emotivas registradas con la lectura del libro tradicional y la lectura e interacción con el libro tradicional.

Los resultados obtenidos en la aplicación del experimento fueron los siguientes:

En la fig.3 se observa un estudiante de la muestra en el proceso de adecuación, configuración y calibración del dispositivo Emotiv Insight.



Fig. 3. Calibración del dispositivo Emotiv Insight

En el experimento se hace necesario calibrar el dispositivo Emotiv Insight, por recomendación del fabricante para arrojar medidas más exactas, esto se hace indicándole al estudiante que se relaje, tome aire y por 60 segundos cierre los ojos.

La captura de las señales emotivas por el dispositivo Emotiv Insight se lleva a cabo a través de los sensores y posteriormente se registran en la app a través de comunicación por bluetooth. La visualización general de las medidas de las variables emotivas se evidencia como se muestra en la fig. 4. En forma específica, la figura muestra un panorama general de las medidas de estado mental en uno de los estudiantes analizados, de allí se observa el tiempo de la prueba, la gráfica general del comportamiento de las variables en el tiempo y por último, los seis valores de las variables en porcentaje.



Fig. 4 Vista general de variables emotivas

En forma complementaria, cada una de las variables emotivas se puede desagregar como se muestra en la fig. 5 para la variable stress. Específicamente, la fig. 5 hace un análisis sobre una variable particular tomando como 100% el valor obtenido anteriormente y sobre ese, divide en porcentajes de categorías muy estresado, medianamente estresado y poco estresado, de la misma manera es aplicable a las cinco medidas restantes.

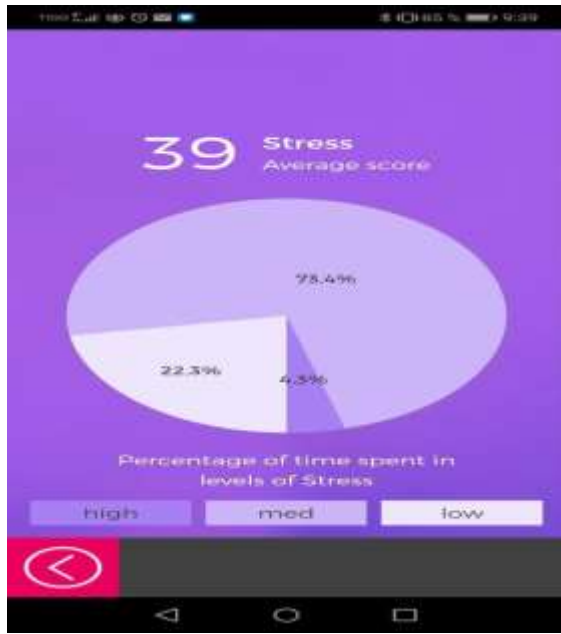


Fig. 5 Vista variable stress de un estudiante

Los resultados capturados para cada una de las variables emotivas tomadas para cada uno de los estudiantes se muestran en la tabla 1.

TABLA 1. ANALISIS COMPARATIVO VARIABLES EMOTIVAS

	Estrés	Entusiasmo	Compromiso	Concentración	Interés	Relajación
Test Lectura Tradicional	21	23	51	35	45	25
Test Lectura AR	25	30	47	23	51	30
Estudiante 1 (↓↑)	↑	↑	↓	↓	↑	↑
Test Lectura Tradicional	36	53	45	32	51	41
Test Lectura AR	40	47	50	26	54	45
Estudiante 2 (↓↑)	↑	↓	↑	↓	↑	↑
Test Lectura Tradicional	44	27	29	45	52	42
Test Lectura AR	37	13	31	33	44	21
Estudiante 3 (↓↑)	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Test Lectura Tradicional	36	27	57	38	51	41
Test Lectura AR	36	33	54	40	51	35
Estudiante 4 (↓↑)		↑	↑	↑		↓
Estadístico	2	2	2	1	2	2
Porcentaje	00.000000	50	50	25	00.000000	50

↑ Subió con respecto a la lectura tradicional
 ↓ Bajó con respecto a la lectura tradicional

Como resultado del análisis comparativo del nivel de las variables emotivas en un experimento de lectura en un texto tradicional comparado con la lectura e interacción de un libro AR en la tabla 1. se pueden destacar los siguientes hallazgos:

- El entusiasmo en un 50% de la población aumenta de la lectura en el libro AR con respecto a la lectura en un texto tradicional.
- El compromiso en un 50% de la población aumenta de la lectura en el libro AR con respecto a la lectura en un texto tradicional.
- El interés en un 66% de la población aumenta de la lectura en el libro AR con respecto a la lectura en un texto tradicional.
- La relajación en un 50% de la población aumenta de la lectura en el libro AR con respecto a la lectura en un texto tradicional.

V. CONCLUSIONES

Los sistemas de Interfaz cerebro-computador (ICC) se han convertido en un mecanismo que hace parte de una estrategia para la verificación del nivel de las variables emotivas en experimentos de diferentes campos disciplinares. En forma particular, en este trabajo se evidenció la verificación del impacto de la integración de una tecnología emergente como es la realidad aumentada en el campo de la educación superior a través de los libros AR.

La hipótesis de que realmente el interés de los estudiantes por leer, comprender y aprender aumenta cuando a los textos se le integran elementos de realidad aumentada fue comprobada a través de un experimento que por medio del análisis de distintas variables emotivas, permitió generar conclusiones válidas y soportadas en los resultados emitidos por el dispositivo Emotiv Insight.

El experimento desarrollado en el presente trabajo deja ver que el interés por la lectura con textos AR es una de las variables que más sobresale en los análisis implementados y no solo en los resultados del Emotiv Insight sino en la percepción que tienen los estudiantes de esta variable, es decir; que la hipótesis planteada en un comienzo se pudo comprobar asegurando una vez más que realmente se despierta el interés de los estudiantes cuando interactúan con una tecnología emergente como la realidad aumentada aplicada en un texto tradicional, esto les permite estar más atentos y más relajados al momento de aprender un tema nuevo.

En cuanto a las variables emotivas, soportado en la información recolectada en el experimento se puede decir que la integración de la realidad aumenta en los libros tradicionales

umenta el interés de los estudiantes de ciencias computacionales en educación superior con respecto a la lectura de un texto tradicional.

El uso de sistemas ICC en el proceso de verificación de niveles de variables emotivas en la interacción de usuarios con herramientas computacionales se convierte en un insumo de alta relevancia para analizar indicadores de usabilidad de las aplicaciones implementadas con tecnologías emergentes en el contexto de la industria 4.0.

De acuerdo con [19], los libros AR se convierten en una estrategia de alta importancia en el diseño de entornos educativos para modelos virtuales en los cuales se necesiten prácticas de laboratorio las cuales se pueden incorporar a través de aplicaciones que simulen dichas prácticas y al mismo tiempo puedan ser susceptibles de acceder a través del mismo entorno. De igual manera, la incorporación de tecnologías emergentes como la realidad aumentada, la realidad mixta y la realidad virtual en el contexto de la educación superior permite innovar los entornos virtuales de aprendizaje y adaptarlos a las características de la industria 4.0.

El desarrollo de aplicaciones tecnológicas que integran conceptos como realidad aumentada, realidad mixta, realidad virtual, inmersión se está integrando cada vez más con mayor potencial en la implementación de recursos educativos en todas las modalidades y campos disciplinares de la educación superior con el fin de despertar el interés, mejorar los niveles de motivación, mejorar los niveles de focalización con respecto a los procesos de aprendizaje.

REFERENCIAS

[1] J. Barroso-Osuna, J. Cabero-Almenara, J. Gutierrez-Castillo. 2018. La producción de objetos de aprendizaje en realidad aumentada por estudiantes universitarios. Grado de aceptación de esta tecnología y motivación para su uso. *Revista Mexicana de investigación educativa*. Volumen 23 N. 79. México.

[2] J. Flórez, S. Mateus. 2014. Objetos de aprendizaje con realidad aumentada para asignaturas de Ingeniería Informática. *Revista Colombiana de Tecnologías de avanzada*. Volumen 2 N. 24.

[3] S. Hernández, B. Contreras, C.Torres, 2016. Desarrollo de libros electrónicos: “Taller Pedagógico”. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*. Volumen 1 N. 27.

[4] R. Mendoza, M. Rojas, L. Esteban. 2016. Gestión de alcance en proyectos de desarrollo de videojuegos. *Revista Colombiana de Tecnologías de avanzada*. Volumen 1 N.27.

[5] J.M. Gutiérrez y M.D.M. Fernández.2014. Applying augmented reality in engineering education to improve academic performance & student motivation. *International Journal of Engineering Education*, 30(3), pp. 625-635.

[6] K. Holewa and A. Nawrocka, 2014, “Emotiv EPOC neuroheadset in brain-computer interface”, *Proceedings of the 2014 15th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. pp. 149–152,May.

[7] J. Katona, I. Farkas, P. Ujbanyi, A. Dukan y A. Kovari, 2014. “Evaluation of the NeuroSky MindFlex EEG headset brain waves data,” in *IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, pp. 91–94,

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6822382/https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2014.6843587>.

[8] A. Fernández y M. Eid, 2013. “Read Go Go!: Towards real-time notification on readers’ state of attention,” in *XXIV International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT)*, pp. 1–6., <http://ieeexplore.ieee.org/document/6684047/>

[9] W. A. Dijk, W. van der Velde, W. J. M. Kolkman, H. J. G. M. Crijns y K. I. Lie, “Integration of the Marquette ECG management system into the Department Information System using the European SCP-ECG Standard,” *Computers in Cardiology*, 1995. [En línea]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/482669/>

[10]J. Corredor, C. Peña, A. Pardo. 2019. Evaluación de las emociones de usuarios en tareas con realimentación háptica utilizando el dispositivo Emotiv Insight INGE CUC, vol. 15, no. 1, pp. 9-16, 2019. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.01>.

[11]F. Navarro, A. Martínez, J.Martinez. 2019. Realidad virtual y Realidad aumentada. *Desarrollo de aplicaciones*. Editorial RA-MA. Ediciones de la U. Bogotá.

[12]Johnson, L., Gago , D., Adams Becker, S., Estrada, V., & Martín, S. *Perspectiva Tecnológica para la Educación en América Latina 2013-2018: Análisis Regional del informe Horizon NMC*. Austin, Texas: The New Media Consortium. Obtenido de https://issuu.com/iredlich/docs/2013-2018_perspectivas_tecnol_gica/4

[13]Kipper , G., & Rampolla, J. 2013. Chapter 2 - The Types of Augmented Reality. En *Augmented Reality: An Emerging Technologies Guide to AR* (págs. 29-50). Waltham, Massachusetts, USA: Elsevier, Inc. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781597497336000024>

[14]Andreas D’unser, Lawrence Walker, Heather Horner, y Daniel Bentall. *Creating interactive physics education books with augmented reality*. En *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference, OzCHI ’12*, p’ag. 107–114, New York, NY, USA, 2012b. ACM. ISBN 978-1-4503-1438-1.

[15]Tzung-Jin Lin, Henry Been-Lirn Duh, Nai Li, Hung-Yuan Wang, y Chin-Chung Tsai. An investigation of learners’ collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system. *Computers & Education*, 68(0):314 – 321, 2013. ISSN 0360-1315.

[16] Jorge Mart’in-Gutiérrez, Jos’e Lu’is Saor’in, Manuel Contero, Mariano Alcáiz, David C.Pérez-López, y Mario Ortega. Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34(1):77 –91, 2010. ISSN 0097-8493.

[17]Brett E. Shelton y Reed R. Stevens. Using coordination classes to interpret conceptual change in astronomical thinking. En *Proceedings of the 6th International Conference on Learning Sciences, ICLS ’04*, p’ag. 634–634. International Society of the Learning Sciences, 2004.

[18]T.-Y. Liu. A context-aware ubiquitous learning environment for language listening and speaking. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(6):515–527, 2009. ISSN 1365-2729.

[19]M. Rojas, O. Portilla. 2019. Arquitectura para entornos virtuales de aprendizaje soportado en Universidad 4.0. XVII LACCEI International – Multiconferencie for Engineering, Education and technology. Jamaica. 2019.