

Evaluación del prototipo V.S.C.O. (Video Sintetizador de Control Ocular) como producto de investigación creación

Evaluation of the V.S.C.O. (Ocular Control Video Synthesizer) prototype
as a research creation product

DIANA PAOLA ANGARITA NIÑO¹ • JORGE ANDRÉS TORRES CRUZ²

Resumen

Este artículo expone el proceso metodológico de creación en la realización del software V.S.C.O (Video Sintetizador de Control Ocular), el cual es producto del proyecto de investigación-creación del mismo nombre que reúne resultados de evaluación de su prototipo por medio de herramientas del diseño centrado en el usuario (DCU). La interfaz usuario-*software* es también parte de la conceptualización de una obra de arte que opera en el contexto del arte digital y el arte computacional. La metodología de tipo descriptivo y enfoque mixto permitirá, a través de la recolección de datos de los usuarios, profundizar en la experiencia público/jugador que integra una tipología de juego en el ámbito de la creación y el entretenimiento. Esto permite evidenciar, en una evaluación perceptiva de la obra de arte digital, cómo esta interfaz favorece estados de relajación mental en el público. También se aprecia el vínculo entre lo sonoro y lo visual en el sistema computacional del V.S.C.O con los propósitos estéticos y técnicos de la música visual, estética que se remonta desde comienzos del siglo XX y que apostaba por la creación de

una arquitectura temporal que se realiza en la fusión sinestésica de colores, formas y movimientos. Se espera lograr que, mediante sus capacidades de interacción con el público en el espacio, la dinámica visual y sonora del V.S.C.O construya su propia arquitectura temporal que la vincula con lo técnico y lo poético de la música visual.

Palabras clave • artes visuales, diseño, interacción hombre-máquina, música visual, software

Abstract

This article presents the methodological process of creation in the development of the V.S.C.O (Ocular Control Video Synthesizer) software, which is the result of the research-creation project of the same name that gathers evaluation results of its prototype through user-centered design (UCD) tools. The user-software interface is also part of the conceptualization of an artwork that operates in the context of digital art and computational art. The descriptive methodology and mixed

¹ **DIANA PAOLA ANGARITA NIÑO** | Magíster en Diseño de Experiencia del Usuario, Universidad del la Rioja UNIR; docente investigador grupo CODIM, Corporación Unificada Nacional del Educación Superior CUN • <http://orcid.org/0000-0002-6775-9981> • diana_angarita@cun.edu.co

² **JORGE ANDRÉS TORRES CRUZ** | Magíster en Estudios del Sonido y Artes Sónicas UdK Berlín; docente investigador en la Universidad de Antioquia, Programa en Comunicación Audiovisual y Multimedial; artista, docente e investigador del grupo Contracampo • <http://orcid.org/0009-0007-1052-7825> • andres.torres7@udea.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 25 de agosto de 2022 • FECHA DE ACEPTACIÓN: 16 de mayo de 2023.

Citar este artículo como: ANGARITA NIÑO, D. P. y TORRES CRUZ, J. A. (2023). Evaluación del prototipo V.S.C.O. (Video Sintetizador de Control Ocular) como producto de investigación-creación. Revista *Nodo*, 34(17), enero-junio, pp. 18-33. doi: 10.54104/nodo.v17n34.1419

approach will allow, through the collection of user data, to delve into the public/player experience that integrates a typology of play in the field of creation and entertainment, thus demonstrating in a perceptual evaluation of the digital artwork how it promotes states of mental relaxation in the audience. The connection between sound and visuals in the V.S.C.O computational system is also appreciated, aligning with the aesthetic and technical purposes of Visual Music, an aesthetic that dates back to the early 20th century and aimed to create a temporal architecture realized in the synesthetic fusion of colors, shapes, and movements. It is expected that the visual and auditory dynamics of the V.S.C.O, through its interaction capabilities with the audience in space, will construct its own temporal architecture, linking it with the technical and poetic aspects of Visual Music.

Keywords • visual arts, design, human-computer interaction, visual music, software

Introducción

La exploración de la relación entre el sonido y la imagen en la obra de arte no es algo que haya comenzado en la actualidad, especialmente si se observa cómo el avance de las tecnologías visuales y sonoras ha permitido que los artistas establezcan sus pretensiones creativas, aportando al mismo tiempo nuevos métodos y técnicas. Partiendo de los conceptos elaborados en su capítulo sobre los efectos del color, Vasili Kandinsky (Moscú, 1866-Francia, 1944) aboga por un relacionamiento metafísico y multisensorial a partir de la experiencia del espectador con los colores en la obra de arte, donde los efectos del color no sólo son procesados por el aparato de la visión, sino que afecta al conjunto de los sentidos (Kandinsky, 2018: 68). La sinestesia como un efecto neurológico que admite ver colores en sonidos musicales será la experiencia que hereda el arte abstracto al mundo del arte en un conjunto de un sinfín cromático y en la reducción paulatina de los elementos de la forma. Por esta razón, la calidad acústica de los colores y las formas presentes en la obra de Kandinsky acogen un proceso de experimentación cuya finalidad es el encuentro con el terreno donde asciende la esencia espiritual del artista.

La búsqueda de lo espiritual en el arte y su conquista abstracta tendrá una oportunidad exclusiva para preservar la necesidad de experimentar aún más allá con el color y con la disminución formal en el uso particular que ejercieron algunos pintores abstractos con la tecnología del

cinematógrafo. El iniciador de este nuevo proceso fue el artista alemán Walter Ruttmann (Alemania, 1887-1941); en 1921 proyectó la primera película de cine abstracto titulada *Lichtspiel Opus 1 (Juego de luces Opus 1)*, la cual tuvo una banda sonora musical original y fue definida en palabras del propio artista como una *sinfonía óptica* (Daniels, 2017).

Los acontecimientos visuales de *Lichtspiel Opus 1* ocurren durante el ritmo temporal que se pone en marcha gracias a la composición musical, lo que se denomina como una *película de música visual* o de *pintura en movimiento*, que se arraiga en una naturaleza híbrida de lenguajes estéticos, como el visual y el sonoro, y al que se suma el de la percepción sinestésica.

Lichtspiel Opus 1 posee la complejidad de la hibridación mediática que, como Cine Absoluto o Cine Abstracto, se localizó en las exploraciones interdisciplinarias que la década de los años veinte trajo en la Alemania de la República de Weimar, donde la actividad artística transitaba en la conjunción entre arte, ciencia y tecnología. En este espacio artístico y de expansión mediática —que incluye el desarrollo del radioarte, entre otros medios—, artistas como Ruttmann forjaron conexiones con gestores de la escuela Bauhaus —como Ludwig Hirschfeld-Mack (Alemania, 1893-Australia, 1965), Kurt Schwertfeger (Polonia, 1897-Alemania, 1966) y László Moholy-Nagy (Hungría, 1895-Estados Unidos, 1946)—, con artistas del movimiento Dada —como Hans Richter (Alemania, 1888-Suiza, 1976), Kurt Schwitters (Alemania, 1887-1948), Raoul Hausmann (Austria, 1886-Francia, 1971)—, con teóricos literarios socialmente comprometidos —como Bertolt Brecht (Alemania, 1898-1956), Walter Benjamin (Alemania, 1892-España, 1940) y Theodor W. Adorno (Alemania, 1903-Suiza, 1969)—, y con compositores de la nueva música como Paul Hindemith (Alemania, 1895-1963) (Daniels, 2017: 25). Lo anterior permite observar que las correspondencias entre el sonido y la imagen que habitan en la obra de música visual de Ruttmann no consisten sólo en la muestra de una serie simple de experimentos aislados con una tecnología mediática como el cinematógrafo, sino que revelan una conciencia volcada y decidida a transformar lo visual y lo sonoro a partir de un arte específico de medios.

Por otro lado, las tecnologías digitales que permiten el procesamiento de información sonora y visual pueden extender las posibilidades mediáticas de la música visual, sobre todo en la alineación del lenguaje audiovisual con respecto a una poética híbrida y sinestésica, cuyas correspondencias puedan enlazar analogías con diferentes dimensiones musicales como el ritmo, el contrapunto y la armonía, aportando posibilidades para que la música visual sea un

vehículo de extensión de la pintura, comprometiendo un tipo de pintura en movimiento (Mollaghan, 2015: 11).

V.S.C.O. entre dos poéticas: la música visual y el arte del software audiovisual

La polifonía de la música visual que aspira ser una sinfonía óptica (Goergen, 1989: 78) es también una expresión sobre la posibilidad que favorece al artista de intervenir en técnicas variadas que amplían las funciones originales de una tecnología como el cinematógrafo. En el caso de Ruttman, una de las técnicas que aplicó y de la que fue responsable de singulares efectos visuales para la época, fue la de la manipulación directa del celuloide, la cual permitiría extender la utilidad de los lienzos físicos de la pintura. Esta comprensión de la maleabilidad de un material como el celuloide —que permitía la manipulación física, donde raspar, pintar y rayar abrían la puerta a una posibilidad de sincronías con elementos puramente musicales— muestra el factor más importante para Walter Ruttman: “una de las consecuencias que implica la realización de los requisitos músico- rítmicos del film, es que el film se convierte en la organización rítmica del tiempo que logra el medio óptico (traducción libre del autor)” (Goergen, 1989: 79). A partir de *Lichtspiel Opus 1*, el film o celuloide se convierte en una nueva partitura musical que reescribe los signos de la escritura de la tradición occidental de la música y los reemplaza por los códigos composicionales del arte abstracto.

Aunque esta relación sobre lo propio musical que debe desarrollar el cine también es abordada por Serguéi Eisenstein (Letonia, 1898-Rusia, 1948) (Evans, 2005: 11), en su definición de montaje cinematográfico, donde el ritmo de los planos en el montaje desata el tiempo auténtico del film, el desarrollo de dimensiones propias de la música —como la armonía, el contrapunto o el ritmo— se componen a lo largo de la línea del tiempo que recorre el celuloide de principio a fin.

Aunque en un concierto de música visual se pueden percibir modos personales de experimentar el tiempo —lo que se conoce con el término de *arquitectura temporal* (De Witt, 1987)—, las luminosidades y los colores puros realizados por el ritmo del movimiento generan una experiencia singular en dicha arquitectura. La longitud del rollo del celuloide y la cantidad de cuadros por segundo que generan la ilusión del movimiento de las imágenes determinan una duración temporal exacta, lo que se revela también como un límite autoimpuesto por el artista respecto al tiempo deseado para su obra. Esto ocurre con las condiciones formales de una composición musical donde se divide la

duración de sus partes significativas que suman el total de su forma y que la inscriben dentro de un género musical específico.

En cuanto a la tecnología contemporánea dominada por procesos computacionales y digitales, las posturas técnicas y estéticas de artistas como Ruttman se ven reflejadas principalmente en la construcción y organización del tiempo para piezas de música visual basadas en algoritmos y que se cruzan con las aspiraciones técnicas y estéticas de un arte de *software* audiovisual. Aunque la comparación entre la actitud experimental de los artistas abstractos de los años veinte y los artistas digitales contemporáneos de música visual parezca alejada, la pretensión tecnológica de corresponder colores y sonidos no es algo que se circunscribe sólo a esos dos momentos en la historia de las artes. Por ejemplo, en 1725, inspirado por Isaac Newton (Reino Unido, 1643-1727) y otros personajes de la misma altura, el padre jesuita Louis Bertrand Castel (Francia, 1688-1757) anunció su invento del clavecín ocular, y proporcionó, al menos en teoría, el funcionamiento de un instrumento capaz de tocar el color de manera musical, como sucede con la mayoría de los órganos de color. Castel basó su diseño en la escala cromática de doce notas y a cada una de ellas le asoció un color particular (Collopy, 2023).

Se pueden enumerar varios ejemplos de aparatos y tecnologías que persiguieron la correspondencia entre el color y el sonido, creando piezas audiovisuales no desde una construcción tradicional narrativa como la del cine de Hollywood, sino desde la pregunta original por la correspondencia sinestésica de imágenes y sonidos que vincula a la música visual con una historia de hace más de tres siglos.

Un caso concreto de un instrumento que se relaciona con el proyecto V.S.C.O. y que fue adaptado para la creación de películas de música visual se observa en las obras realizadas por la artista Mary Ellen Bute (Estados Unidos, 1906-1983), quien pudo extraer figuras en movimiento de un osciloscopio de tubo de rayos catódicos; las figuras estaban en perfecta coordinación con la partitura de una composición musical original (Center for Visual Music, 2023).

La búsqueda por extender las posibilidades de una tecnología como el osciloscopio —que fue concebida para otras implementaciones técnicas— o la del tubo de rayos catódicos —que fue, entre otras implementaciones, pensada para generar las imágenes de la televisión electrónica—, es algo que conecta la voluntad de experimentar sobre un medio específico que artistas como Mary Ellen Bute o Nam June Paik (Corea del Sur, 1932-Estados Unidos, 2006) asumieron, logrando ubicar la correspondencia entre lo sonoro y lo visual a su propia manera: Bute, desde una búsqueda del arte cinético donde la música es inherente al pro-

ducto (Center for Visual Music, 2023), y Paik, en la apertura de la música y su transición hacia la imagen electrónica (Medien Kunst Netz, 2023).

Siguiendo esta ruta, el proyecto V.S.C.O también se basa en una búsqueda que implica la experimentación sobre un medio específico como es el *software* audiovisual, sobre todo uno que permite el funcionamiento de un sistema generativo. Aquí lo híbrido entre el lenguaje sonoro y el lenguaje visual, así como la recepción sinestésica —características que ocurren en el cine abstracto y que dieron pie a la producción de películas de música visual—, ocurren en el V.S.C.O cuando se integran diferentes librerías que forman un sistema computacional tanto para lo sonoro como para lo visual, y que se integrarán, como se explica más adelante, en el nivel de interacción con el público.

Metodología

La realización de este proyecto de investigación creación implicó el uso de herramientas de investigación mixtas, lo que define el tipo de investigación como descriptiva y de enfoque mixto (Sampieri, 2018) desde el diseño centrado en el usuario o DCU (Sánchez, 2011). La secuencia metodológica comprende las siguientes fases asociadas a los objetivos específicos planteados en el proyecto:

Fase 1: Análisis estado del arte y revisión teórica

Esta reflexión sirvió como punto de partida en la investigación realizada que inició con una fase de revisión teórica y estado del arte, lo que permitió exponer una revisión de los fundamentos, el panorama actual y los elementos necesarios para el correcto uso de la técnica del *eye tracking* en plataformas audiovisuales. Para ello se llevó a cabo una minuciosa búsqueda de aportes teóricos y ejemplos prácticos que contribuyeron a la formulación de la obra. Se revisaron, entre otras, algunas investigaciones en el campo del seguimiento ocular relacionadas con el diseño de interfaces y dispositivos enfocados en el campo audiovisual, donde se relacionan los niveles visual, musical y sonoro con el usuario. Se concluye que los desarrollos logrados pueden extenderse hacia el uso de otras tecnologías. Según lo anterior, la posibilidad que ofrece un sistema computacional donde se pueden transformar imágenes y sonidos con gestos faciales abre la oportunidad de incluir una tecnología como el *eye tracking* en la propuesta de la obra de arte, donde el usuario es capaz de controlar interfaces digitales con el movimiento de sus ojos.

Fundamento teórico

1. Eye tracking y Diseño Centrado en el usuario (DCU)

Revisando la literatura sobre el tema, el seguimiento ocular se remonta a los métodos de investigación primitivos utilizados en la psicología humana y la publicidad en el siglo XIX, pero los avances más notables en la tecnología y sus aplicaciones ocurrieron en los últimos diez años. En este sentido, desde la década de 1990, las herramientas de la neurociencia se utilizan para analizar el comportamiento de los usuarios frente a las interfaces (Jacob y Karn, 2003). Se destaca la primera aplicación del *eye tracking* como ingeniería de usabilidad por parte de Fitts, Jones y Milton (1950), las de Just y Carpenter (1976), así como algunas más recientes donde se evidencian las primeras asociaciones de fijación con procesos cognitivos específicos (Cummins, 2017).

Por otro lado, el diseño centrado en el usuario (DCU) es una filosofía de diseño que conoce y comprende las necesidades, restricciones, comportamientos y características de los usuarios, y en muchos casos involucra a usuarios potenciales o reales en el proceso. En este sentido, el DCU se puede definir como un enfoque interdisciplinario centrado en el desarrollo de productos y/o servicios basados en las necesidades humanas, lo que permite comprender mejor a los usuarios objetivo y sus actividades. Diseñar, evaluar y mejorar propuestas de diseño a lo largo del proceso de diseño y crear productos más útiles y usables (Norman, 1988; Vredenburg, Isensee, y Righi, 2002; Mao, Vredenburg, Smith, y Carey, 2005; Verizer y Borja, 2005; Jakobsen, 2019).

Entre los métodos DCU existentes para evaluar la usabilidad, el seguimiento de la mirada es una técnica que registra los movimientos del ojo humano principalmente con el propósito de detectar anomalías o interactuar con estímulos o tareas previamente definidas. Este objetivo se puede medir analizando los datos obtenidos al usar o aplicar la tecnología (Duchowski, 2002).

El seguimiento ocular, según Zurawicki (2010), es una herramienta que puede analizar el estilo de lectura, la distribución, el tiempo de mirada y la dilatación de la pupila. Permite observar cómo las impresiones afectan la atención y el procesamiento cognitivo de un sujeto. Es importante señalar que, además de la usabilidad, la accesibilidad debe ser considerada en el análisis, el diseño y la creación de interfaces digitales. El entorno no es sólo contenido y estructura, sino también experiencia de usuario (Roa-Martínez y Vidotti, 2020), por lo que estudios que integren y vinculen estos temas y tecnologías como el *eye tracking* para apoyar procesos y evaluación de plataformas digitales con un enfoque centrado en el usuario, son importantes.

Teniendo en cuenta que la usabilidad incide en la experiencia del usuario (UX) y el diseño centrado en el usuario (DCU), la evaluación del factor de usabilidad tiene como objetivo contribuir a la evaluación de (UX) al resaltar indicadores objetivos derivados de los datos de seguimiento ocular. Como tecnología proporcionada por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), la usabilidad se define como “el grado de eficiencia, eficacia y satisfacción con el que un usuario en particular puede lograr un objetivo en particular bajo condiciones de uso particulares” (ISO, 1998).

En este sentido, la usabilidad de cada interfaz se puede medir por quién usa la interfaz y qué objetivos se quieren alcanzar usándola. El seguimiento ocular es uno de los métodos de usabilidad más utilizados en la interacción humano-computadora. Aunque se ha usado durante más de cien años en diversos campos como la psicología (Kim, 2015; Valero y Arce, 1994; Poole y Ball, 2005), la neuropsicología (Duchowski, 2007; Cipresso *et al.*, 2012), el marketing (Reutskaja, Nagel, Camerer y Rangel, 2011) y el diseño de experiencia de usuario (Rogers, Sharp y Preece, 2011; Hassan, Martin e Iazza, 2004), es oportuno seguir explorando este tipo de investigaciones en el campo del arte para contribuir a esta área del conocimiento.

Vale la pena enfatizar la importancia del diseño de experiencia de usuario (UXD) como un enfoque para el diseño y desarrollo de productos digitales, incluida la arquitectura de información (AI) y el diseño de interacción (IxD). Como señaló Garrett (2010), la vinculación de los requisitos y las fases de diseño se centra en los elementos de la experiencia del usuario (UX), destacando los desafíos de la arquitectura de la información y el diseño de interacción a considerar en el diseño y desarrollo de productos digitales.

Otro concepto a tener en cuenta dentro del (DCU) es el de las etapas definidas para la creación de un producto de *software* (análisis de requerimientos, diseño del producto, implementación del mismo, y prueba de lo realizado). En este sentido es importante señalar que la creación de *software* es un proceso donde estas etapas pueden ser iterativas o lineales según las necesidades del proyecto. Así las cosas, el rol que desempeña el diseñador de experiencia de usuario dentro del diseño de *software* puede ser visto como un proceso comunicativo inspirado en el modelo de comunicación (Shannon y Weaver, 1949). Bajo esta teoría, el diseñador se convierte en un mediador entre las necesidades comunicativas que establece la persona o institución que solicita o encarga el producto (clientes) y las necesidades funcionales e informativas de las personas que van a usar el producto (usuarios). De este modo, la función del diseñador es precisamente lograr un equilibrio en este

proceso comunicativo entre emisores (clientes) y receptores (usuarios).

2. Eye tracking y música: tecnologías de seguimiento ocular y EEG en el campo del diseño de interfaces audiovisuales

Existen múltiples tecnologías en el campo del seguimiento ocular. A continuación se muestran algunas investigaciones en el campo vinculadas con el diseño de interfaces y dispositivos en relación con el campo audiovisual, es decir, en la relación entre imágenes, música y sonido.

Algunas investigaciones como las de Miranda, Lloyd, Josipovic & Williams (2014) evidencian nuevos enfoques en la composición musical que unen tecnología de imágenes cerebrales, inteligencia artificial musical y neurofilosofía. Es el caso de *Symphony of Minds Listening*, una composición experimental para orquesta en tres movimientos, basada en los escáneres FMRI tomados de tres personas diferentes mientras escuchaban el segundo movimiento de la *Séptima sinfonía* de Beethoven, lo cual conlleva a una mejor comprensión del cerebro musical combinado con avances técnicos en ingeniería biomédica y tecnología musical. Lo anterior es fundamental para el desarrollo de sistemas de interfaz de música cerebro-computadora (BCMI) cada vez más sofisticados; a través de esta investigación se establecen posibles beneficios para los sectores médico y de salud, así como para la industria del entretenimiento. Se evidencia así el impacto potencial en la creatividad musical de una mejor comprensión científica del cerebro y el desarrollo de tecnología cada vez más sofisticada para escanear su actividad.

Fink, Lange y Groner (2018) abordan el seguimiento ocular más allá y distan de definirlo o enfocarlo usualmente como una metodología aplicada en el dominio de la investigación visual, sugiriendo su relevancia en el contexto de la investigación musical. Por último, aportes como el de Míret, López y De Córdoba (2017) y Gutiérrez (2019), brindan a los investigadores herramientas en el control de la evaluación con usuarios a través del uso del *eye trackers* y proveen una guía metodológica en la evaluación de las categorías y posibles dificultades en el uso del control ocular de la interfaz.

Al respecto es importante destacar el desarrollo en el crecimiento de aplicaciones móviles y plataformas que relacionan la música con las tecnologías neurocientíficas, como el FMRI, la encefalografía o el *eye tracking*. Ejemplo de esto es una aplicación basada en una interfaz cerebro-ordenador que puede transmitir, desde la parte central del sistema nervioso (encéfalo), música a una partitura mediante

el pensamiento, propuesta por Pinegger, Hiebel, Wriess-Negger & Müller-Putz (2017), quienes toman como punto de partida un método existente en el sistema interfaz cerebro-ordenador (BCI, por sus siglas en inglés) que es empleado para trasladar el pensamiento a un papel.

Por último, cabe destacar ciertas investigaciones en Colombia, una de las cuales es llevada a cabo por la Universidad de Caldas: se llama *Brain Score* (Sistema Compositivo, Gráfico y Sonoro) y fue creado a partir del comportamiento frecuencial de las señales cerebrales. Es un sistema que lee, clasifica y traduce las señales electroencefalográficas (EEG) en información para crear una sonificación fundamentada en música atonal partiendo de la teorías del *pitch set* y el postserialismo (Aguirre, Gaviria, Castro, Torres, y Rodríguez, 2019): los datos procesados obtenidos del EEG a través de la interfaz cerebro ordenador (BCI) son utilizados para controlar un sistema de interfaces gráficas que representan la notación musical y generan estructuras creativas de composición atonal a través de la manipulación de datos MIDI, que finalmente se traducen en instrumentos musicales digitales, como los sintetizadores y las máquinas de *sampling*, entre otros.

3. Los eye trackers como método de control de la interfaz

El *eye tracker* es el dispositivo de medición de la posición y el movimiento de los ojos. Se usa en investigación del sistema visual, psicología, psicolingüística y marketing, como un dispositivo de *input* para la interacción hombre-máquina y en el diseño de productos. Este dispositivo puede servir como control de interfaz. Se puede definir entonces también como una forma de acceder a la interfaz gráfica usando un *mouse* controlado por medio de los ojos (Isbej, 2020; Ramos, 2019; Deleg y Orellana, 2021).

Lo anterior ha beneficiado a un amplio rango de población que tiene dificultades físicas para utilizar una computadora, siendo así la tecnología de la mirada una forma rápida y fácil de entender y/o acceder a cualquier *software* (Ron-Angevin, Lespinet-Najib & André, 2017; Salvalaio y de Oliveira, 2019). Actualmente, gracias al desarrollo de componentes más económicos, ha crecido el interés en la utilización de dispositivos de bajo costo que permiten incluir la interacción persona-ordenador con la mirada (Hassan y Herrero, 2007; Janthanasub & Meesad, 2015; Wankhede, Chhabria, Dharaskar y Thakare, 2013) y su uso como control ocular se ha experimentado en campos como los videojuegos, generando mayor accesibilidad en los usuarios (Vickers, Istance y Smalley, 2010).

Estas investigaciones anteceden en general a la visión integradora de los investigadores participantes hacia un nuevo proyecto de obra creación que permita integrar desde sus áreas disciplinares y campos de investigación el conocimiento obtenido hacia el desarrollo de un producto que integre las tecnologías y los aportes que pueden tener los instrumentos de medición neurocientíficas en el diseño de una interfaz. Es el caso de V.S.C.O (Video Sintetizador de Control Ocular), que se propuso como un dispositivo de entretenimiento digital, con el que los usuarios pueden crear imágenes y música en tiempo real mediante un control innovador que se da a través del movimiento ocular y facial que controla los parámetros de una interfaz digital.

Fase 2: Diseño

En la segunda fase del proyecto se buscó desarrollar el diseño de una interfaz digital que permita a los usuarios interactuar mediante los movimientos de los ojos y del rostro con un sistema computacional que convierte dichos impulsos en reacciones visuales y sonoras. Se trata de un sistema que permite que los usuarios, mediante sencillos gestos oculares como el parpadeo, pueden transformar las imágenes en movimiento que genera y anima el video sintetizador V.S.C.O (Ibb30, 2021).

La interfaz es en sí misma un aplicativo construido desde el lenguaje de programación visual Max/MSP/Jitter (cycling74, 2022) y se encuentra por el momento disponible sólo para Mac (aunque hay una versión en desarrollo que se exportó en windows 10, pero todavía está en pruebas).

En la arquitectura de la app V.S.C.O se agrupan dos sistemas: uno para la captura del rostro del usuario y otro que se encarga de la generación de las imágenes y los sonidos. La captura del rostro es la instancia inicial de interacción que ofrece la aplicación, donde una cámara web localiza en la imagen los ojos, la nariz y la boca.

Como ya se ha mencionado, la aplicación fue desarrollada con el *software* Max/MSP/Jitter, que permite usar paquetes y librerías como Computer Vision, de J.M Pelletier, herramienta que se enfoca en el área de Visión Computacional, es decir, en la pregunta de cómo los computadores pueden mirar (Pelletier, 2023). Los objetos creados por Pelletier permiten que una cámara web conectada al computador reconozca no sólo las características del rostro (*Face Recognition*), sino que detecte el movimiento de estos atributos (*Motion Tracking*), que representan ventajas en lo que concierne al desarrollo de la función de control ocular del video sintetizador V.S.C.O.

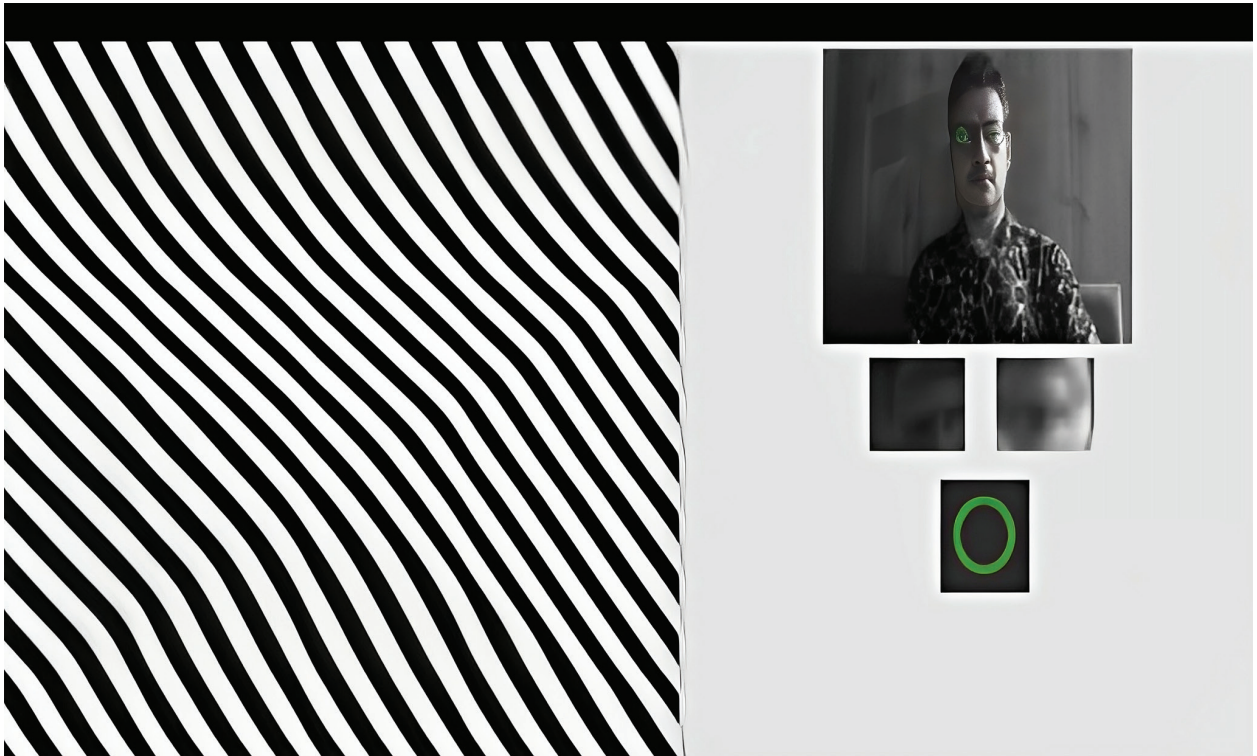


Figura 1 | Diseño del proyecto V.S.C.O.

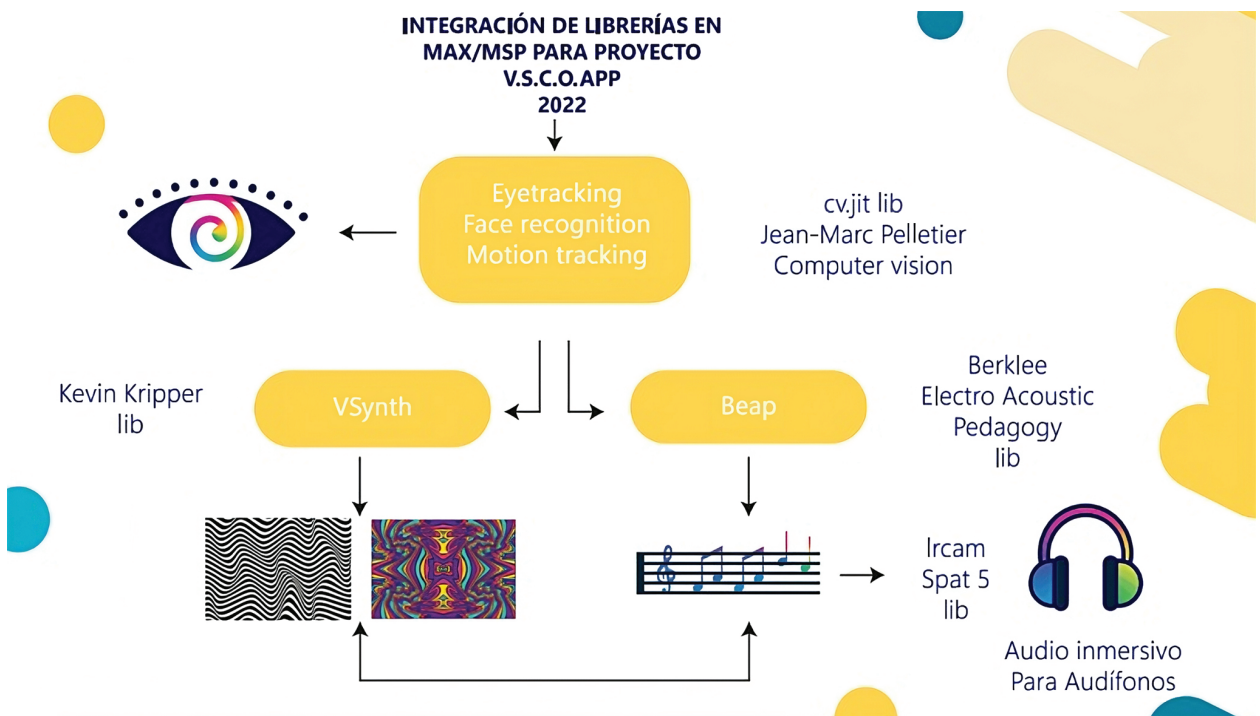


Figura 2 | Integración de librerías V.S.C.O. APP.

El segundo sistema es un grupo de módulos que generan y transforman las imágenes de un video sintetizador, y es también una librería/paquete que se puede descargar desde Max/MSP/Jitter —conocida como Vsynth— (Kripper, 2023). Esta librería permite procesar la señal de video de manera similar a la realizada por algunos videoartistas de la década de los sesenta y setenta, que trabajaron con técnicas de video análogo (Zinman, 2023).

En esta fase se propuso conectar las dos librerías, de manera que la que percibe el rostro de las personas pueda enviar datos suficientes a la otra librería, la cual está compuesta por los módulos del video sintetizador, encargados de proyectar la imagen y activar lo sonoro.

Como en Max/MSP/Jitter es posible extraer valores de la señal de video que viene desde la cámara web y que reconoce el rostro humano, dichos valores pueden determinar la sucesión de eventos a ocurrir. Para ello, el V.S.C.O. establece controles macro que puedan modificar al mismo tiempo otros parámetros de interés de los módulos de la librería VSynth.

V.S.C.O como instalación

Se plantea entonces una propuesta para una obra de videoinstalación sonora inmersiva en el espacio del 2º Simposio Internacional en Historia y Teoría de los Medios llevado a cabo en la Universidad del Antioquia los días 24 y 25 de noviembre de 2022. Se propuso presentar, por un lado, una ponencia que diera cuenta de lo estético, lo técnico y lo metodológico que rodeó al proyecto, donde entran en relación áreas como la estética de la Música Visual que se inscribe como una de las prácticas del Cinema Abstracto o Absoluto del comienzos del siglo XX con marcos conceptuales como la metodología DCU y las evaluaciones de *eyetracking* efectuadas en sujetos, demostrando así que el sistema computacional produce estados de relajación cerebral. Por otro lado, se pretende comprobar las acciones de la app mediante una videoinstalación interactiva audiovisual, sencilla de configurar en el espacio, y que permitirá demostrar los valores estéticos y técnicos de este proyecto.

En este sentido, se tuvo en cuenta el espacio asignado y se desarrollaron una serie de planos, renders y propuestas para determinar la videoinstalación de la obra. Entre los aspectos considerados para la graduación del *software estético*: un espacio poco iluminado, de forma adicional se usaron audífonos de sonido inmersivo, un computador portátil Mac Os, un proyector de video para *mapping* y telas para proyección. Finalmente se realizaron en el espacio las pruebas técnicas y la instalación (figura 3).

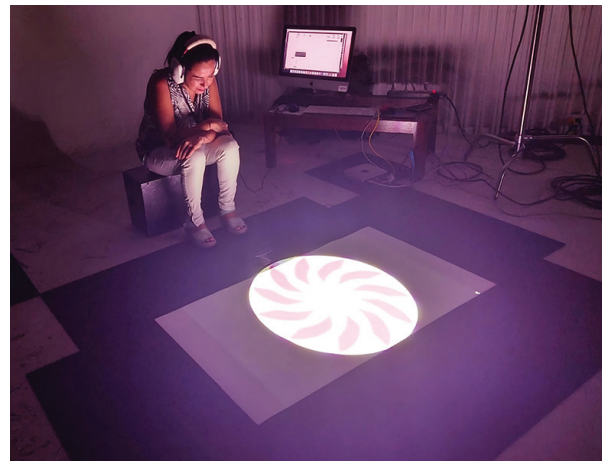
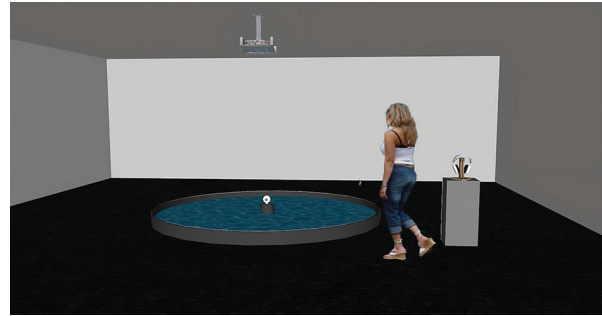
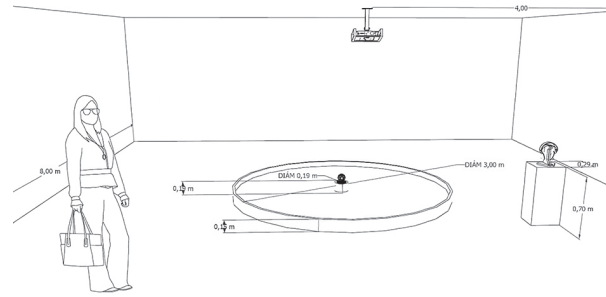


Figura 3 | Planos, render y fotografías de la videoinstalación e interacción con participantes.

La obra entonces se valida en dos escenarios: por una parte, con el uso del *eyetracking*, y por la otra, a través de la recolección de datos a partir de la experiencia creativa cualitativa en un espacio de exhibición donde se vinculó la comunidad académica y el público en general en una experiencia de investigación creación.

Fase 3: Evaluación

Esta fase se desarrolló cruzando los datos obtenidos de las entrevistas y los cuestionarios dirigidos y adaptados al grupo específico con la tecnología de rastreo y registro de la mirada conocida como “eye tracking” (Nielsen & Pernice, 2010).

El tipo de investigación fue de tipo experimental con enfoque mixto (Bergstrom & Schall, 2014). La investigación se materializó en el Laboratorio de Neurociencias de la Universidad de Medellín y contó con la participación de dos docentes, un experto en neurociencia y ocho estudiantes (*gamers*). Para este estudio se utilizó el *eye-tracking* fijo con el sistema de seguimiento ocular Tobii Pro X2-60 *eye tracker*. La distancia entre los sujetos de prueba y la pantalla con las imágenes faciales era de 60 cm (Tobii, 2013). En la figura 4 se puede apreciar la configuración del entorno y el sujeto de prueba. Esta herramienta tecnológica se implementó en el estudio de manera controlada, donde los usuarios se enfrentaron al diseño del prototipo en su primera versión (1.0).

Antes de iniciar el experimento se le pidió a los usuarios contestar un cuestionario con el fin de caracterizarlos; se recopilaban datos demográficos, edad, sexo y lugar de residencia, así como la frecuencia y experiencia en el uso de

videojuegos e interacción con pantallas y dispositivos, entre otros.

Diseño del experimento de *eye-tracking*

Finalmente, para la interpretación de los datos se tomaron como base de análisis algunos datos estadísticos, la comparación visual con los mapas de calor de los participantes y las rutas sacádicas (Hassan y Herrero, 2007), así como los cuestionarios pre y post del experimento. Los análisis se realizaron en el software Tobii Studio 3.4.8. El objetivo de la prueba en el laboratorio fue obtener información relativa a qué atributos son los que captaron la atención de los usuarios durante la visualización, cuál era su recorrido visual sobre la interfaz y a qué atributos les daban más importancia de forma involuntaria.

Diseño y procedimiento

Al iniciar el experimento, los participantes firmaron un documento de consentimiento en el que se les explicaba la actividad a realizar; posteriormente se le explicó a cada participante cómo funcionaban los comandos del controlador Dualshock PS4 Controller para el uso en la plataforma; se les dieron de cinco a diez minutos para familiarizarse con su uso. Luego se procedió a calibrar el dispositivo para la mirada de cada sujeto, proceso que tomó alrededor de 20 segundos. Cuando el sistema está calibrado, el *software* de seguimiento ocular calcula las coordenadas de la mirada del usuario con una precisión promedio de alrededor de 0.5 a 1 grado de ángulo visual.

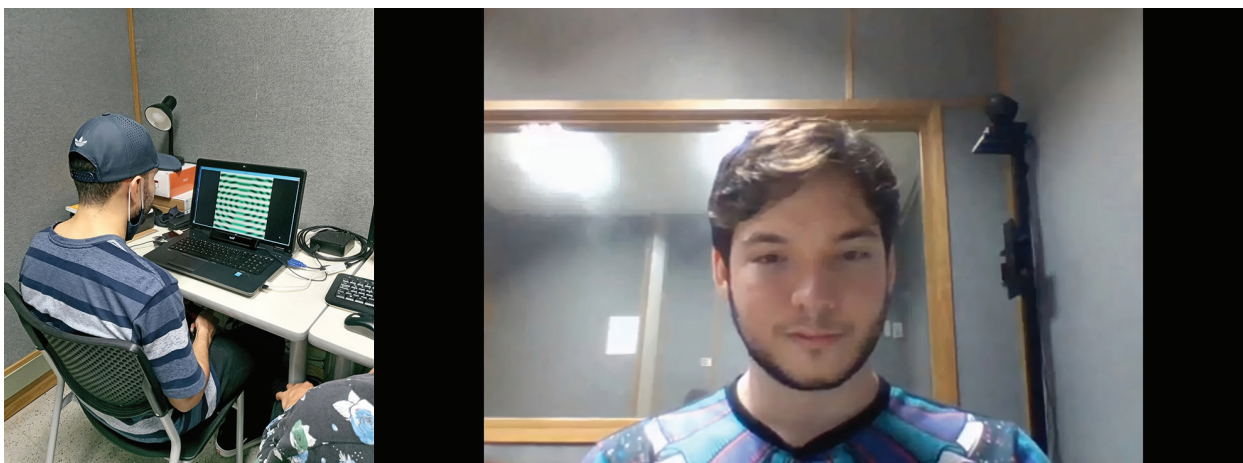


Figura 4 | Laboratorio del neurociencias para pruebas y dispositivos empleados en los participantes de la Universidad de Medellín (*eye-tracking* fijo).

Suponiendo que el usuario se encuentre aproximadamente a 60 cm de distancia de la pantalla, esta precisión corresponde a un error promedio en pantalla de 0.5 a 1 cm. Se le propuso a los participantes visualizar la pantalla durante todo el experimento sin mirar el control del juego, con la certeza de que dominaban el uso de este tipo de controles. Durante 5 minutos de exposición a la pantalla, los usuarios realizaron libremente la interacción con la plataforma.



Figura 5 | Configuración del dispositivo de prueba.

Los análisis se realizaron en el software Tobii Studio 3.4.8. La configuración predeterminada para la definición de la fijación fue de 100 milisegundos para el área de 30 píxeles. Cuando los ojos permanecen en el área de 30 píxeles durante al menos 100 milisegundos, se considera una fijación. Con este software se pueden realizar estudios oportunos de la mirada de los participantes y obtener distintos mapas de calor, áreas de interés, datos de fijaciones, *scan paths*, etcétera.

Rutas sacádicas

En el presente estudio se utilizó un rastreador ocular para recopilar datos sobre las fijaciones oculares con una frecuencia de muestreo de 60 Hz, lo que resulta en 60 puntos de mirada individuales por segundo. Cuando una serie de puntos de mirada se encuentra cercana en tiempo y en espacio, se considera que se ha producido una fijación. Estas fijaciones representan períodos en los que los ojos se mantienen fijos en un objeto o área de interés (figura 6).

La investigación en este campo ha experimentado un crecimiento continuo, y las fijaciones oculares son medidas valiosas de atención visual. Se analizaron las rutas sacá-

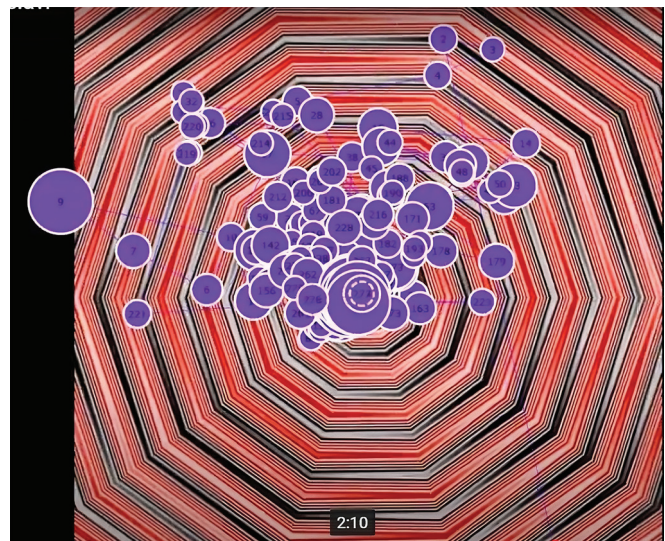
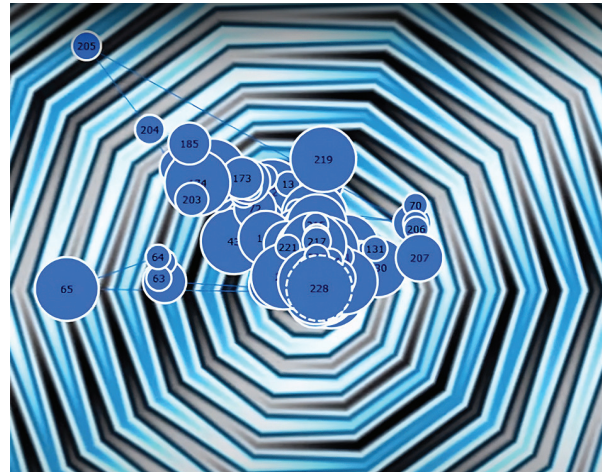


Figura 6 | Rutas sacádicas de algunos participantes.

dicas de los participantes, revelando un alto número de fijaciones, que van desde 228 a 282, y un promedio de 255 fijaciones por usuario. Estas mediciones se analizaron y compararon durante tres minutos de grabación para asegurar una comparación precisa entre los resultados de cada participante. Estas rutas son representaciones estáticas que reflejan el comportamiento visual del usuario durante el proceso de exploración ocular. Los puntos de mirada representan los objetos o las áreas que han captado la atención visual del observador.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizó también un análisis estadístico de los datos proporcionados por el *eye-tracking*. Para llevar a cabo este procedimiento se empleó un enfoque experimental, seleccionando datos relevantes para medir y analizar la atención de los usuarios en su interacción con la interfaz. Las variables utilizadas fueron las siguientes:

Gaze Event Type: Esta variable indica el tipo de evento de mirada, como *fijación*, *sacada* (movimiento rápido del ojo) o *evento no clasificado*. La información se usó para categorizar los eventos de mirada y mostrar la distribución de los diferentes tipos de eventos de mirada de cada usuario. Para el análisis se tomaron 60 segundos como muestra representativa de la grabación total del usuario en su interacción con la interfaz, que fue de un total de exposición de cinco minutos. El mismo procedimiento se realizó con los datos de los otros cuatro participantes, para posteriormente hacer una comparación de los resultados.

Usuario 1: David Peñaranda
Hora de inicio: 17:37:00.002
Hora de finalización: 17:38:00.003
Tiempo de la medición: 60 segundos

Tabla 1. Tipo de evento y totales Usuario 1

Gaze Event Type	Total
Fixation	3054
Uncategorized	389
Saccade	154

Total Gaze Event David Peñaranda

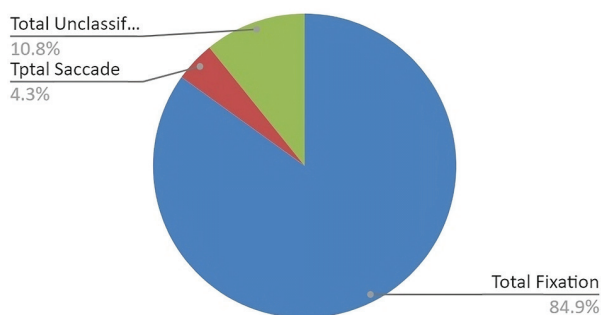


Figura 7 | Total Gaze Event Type Usuario 1.

Los resultados del Usuario 1 indican que 84.9% de los eventos registrados corresponde a fijaciones, mientras que 4.3% corresponde a sacadas, y 10.8% a eventos no categorizados o errores. Estos datos sugieren que los eventos de fijación de atención del usuario predominaron en términos de duración en comparación con los movimientos en la pantalla.

Los resultados del Usuario 2 muestran 81.3% de fijaciones frente a 13.5% de sacadas durante el minuto evaluado, además de 5.2% de los eventos sin categorizar.

Los datos del usuario 3 sugieren que durante los 60 segundos de observación hubo una alta proporción de tiempo dedicado a fijaciones (96.7%), indicando una atención sostenida en puntos específicos. Las sacadas y los eventos sin clasificar representaron una parte mucho menor del

Usuario 2: Gianna Tabares
Hora de inicio: 17:08:40.901
Hora de finalización: 17:09:40.901
Tiempo de la medición: 60 segundos

Tabla 2. Tipo de evento y totales Usuario 2

Gaze Event Type	Total
Fixation	2927
Uncategorized	188
Saccade	486

Total Gaze Event type Gianna Tabares

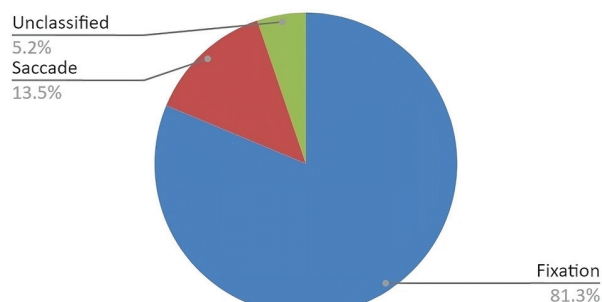


Figura 8 | Total Gaze Event Type Usuario 2.

Usuario 3: Nicolás Contreras
Hora de inicio: 18:05:01.015
Hora de finalización: 18:06:01.017
Tiempo de la medición: 60 segundos

Tabla 3. Tipo de evento y totales Usuario 1

Gaze Event Type	Total
Fixation	3479
Uncategorized	22
Saccade	97

Total Gaze Even type Nicolas Contreras

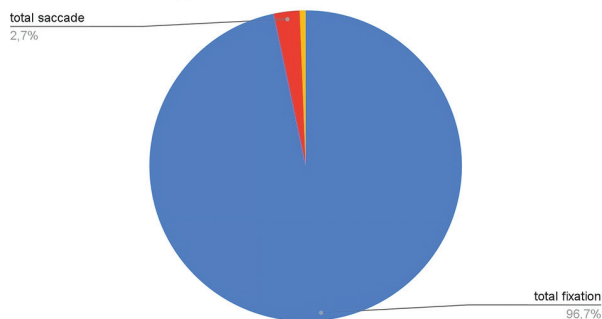


Figura 9 | Total Gaze Event Type Usuario 3.

tiempo total (2.7% y 0.61%). Estos resultados ayudan a comprender los patrones y comportamientos visuales durante la tarea evaluada y representan, por parte del usuario 3, una alta atención visual en la toma de decisiones.

Usuario 4: Sebastián Uribe
Hora de inicio: 18:14:02.309
Hora de finalización: 18:15:02.309
Tiempo de la medición: 60 segundos

Tabla 4. Tipo de evento y totales Usuario 1

Gaze Event Type	Total
Fixation	3389
Uncategorized	1
Saccade	214

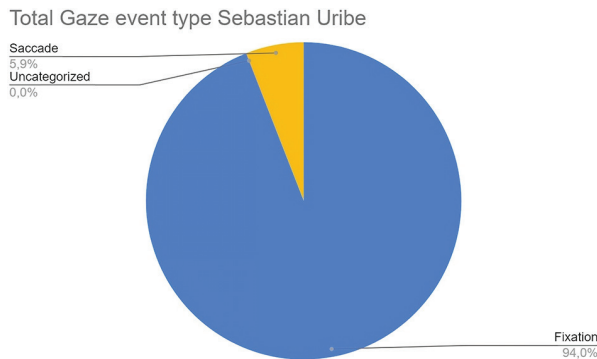


Figura 10 | Total Gaze Event Type Usuario 4.

En el Usuario 4 encontramos 94% de fijaciones frente a 5.9% de sacadas, mientras que sólo 0.1% de los eventos quedaron sin categorizar, lo que indica que el usuario pasó más tiempo en momentos de fijación de la mirada sobre los objetos de la pantalla y tuvo menos errores de categorización.

Finalmente comparamos los resultados de los cuatro usuarios (figura 11): los usuarios 3 y 4 tuvieron mayor cantidad de fijaciones, lo que indica un mayor enfoque en objetos específicos de la interfaz; el usuario 2 realizó más sacadas, es decir, mayor movimiento rápido y exploratorio entre los objetos de la interfaz, mientras que el usuario 1 tuvo un mayor número de eventos sin categorizar, lo que sugiere más errores o ruido en los datos al no poder cate-

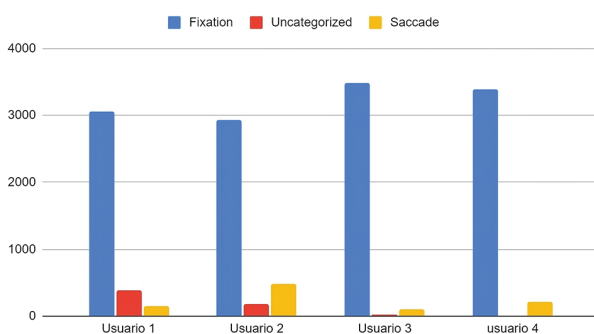


Figura 11 | Comparativo Total Gaze Event Type por usuarios.

gorizar en el tiempo evaluado el tipo de evento de mirada; el 4 usuario fue el que obtuvo menos errores de categorización. Sin embargo, en todos los participantes en general es alto el número de fijaciones sobre las sacadas, lo que indica que la atención en zonas de la pantalla fue mayor que el movimiento de la mirada.

Después se tomó la variable del Gaze Event Duration; esta variable representa la duración de un evento de mirada en milisegundos: se cruzaron los datos de la duración total de los eventos con el total de tipo de evento (Gaze Event Ttype vs Gaze Event Duration) para generar un tiempo promedio de cada evento. Esto se aprecia en la tabla y el gráfico de barras siguientes, que muestran la duración promedio de los diferentes eventos de mirada del Usuario 1 en el mismo tiempo analizado.

Tabla 5. Tipo de evento y duración promedio Usuario 1

Type Event	Total Gaze Event	Average time duration (milliseconds)
Total Fixation	3054	42363.36
Total Saccade	154	2171.77
Total Unclassified	389	16762.7

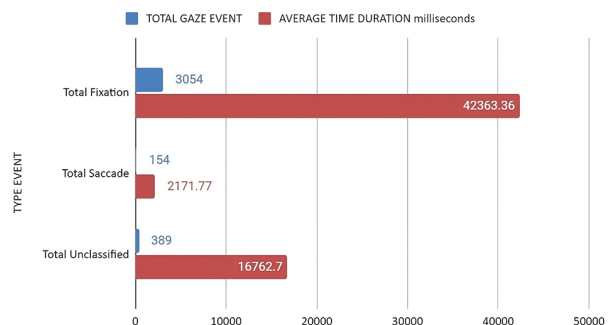


Figura 12 | Duración del evento y tipo del evento Usuario 1.

Lo que se aprecia en la gráfica es cómo el total de las fijaciones del usuario son más largas frente a las sacadas y los eventos sin clasificar, lo que indica, de nuevo, mayor atención por parte del usuario en tiempos más prolongados en áreas de la pantalla frente a movimientos en la misma.

Por último se tomaron los valores de los GazePointX (ADCSpX) y GazePointY (ADCSpY): estas variables representan las coordenadas X e Y del punto de mirada en píxeles. Se observan los puntos de mirada en la pantalla en el gráfico de dispersión que muestra la distribución espacial de los puntos de mirada.

Los valores de GazePointX (MCSpX) varían entre 212 y 541, mientras que los valores de GazePointY (MCSpY) oscilan entre 65 y 670. Algunos puntos de fijación parecen estar agrupados en ciertas áreas. Por ejemplo, hay varios

puntos en el rango de GazePointX (MCSpX) entre 260 y 280, y GazePointY (MCSpX) entre 145 y 190. Esto sugiere que los participantes enfocaron su mirada en una región específica de la pantalla durante ciertos períodos que, en este caso, corresponde a la región central de la misma, lo que tiene entonces relación con la observación de estos mismos datos al compararlos con los vídeos de la grabación de las rutas sacádicas y los *heatmaps* de los participantes.

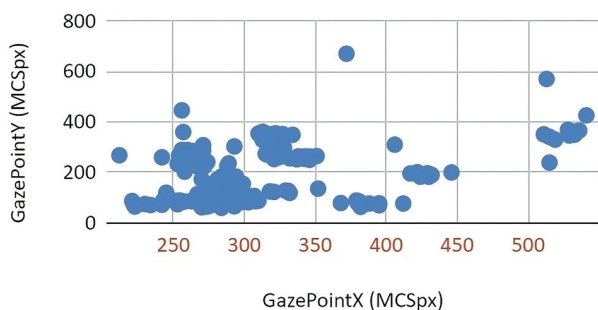


Figura 13 | GazePointY(MCSpX) vs GazePointX (MCSpX).

Los *Heatmaps* o mapas de calor

En la figura 14, las zonas rojas indican un elevado número de puntos de fijación de la mirada, es decir, zonas de más interés, mientras que las zonas amarillas y verdes indican zonas de menor atención e interés (Méndez, Lazo y Vázquez, 2021).

En la mayoría de los mapas de calor observados se pudo notar que las áreas con mayor intensidad se concentraban en el centro de la imagen, indicando que es allí donde principalmente se fija la atención visual de los participantes durante el periodo de tiempo observado.

Cuestionario de usabilidad

Por último, para analizar la usabilidad de la aplicación utilizando los conceptos anteriormente descritos, fue necesario definir una serie de indicadores en forma cualitativa o cuantitativa que permitiera medir la experiencia que ha tenido un usuario frente a los estímulos que le presenta una interfaz. En este sentido, se desarrollaron varios métodos para el experimento, entre ellos, la observación, los cuestionarios y el Cuestionario de usabilidad. Este trabajo se basó en el PSSUQ (Post Study System Usability Questionnaire).

Una vez finalizado el experimento de rastreo ocular se solicitó a los sujetos responder una encuesta con escala de Likert, en donde indicaron los objetos o zonas que más cap-

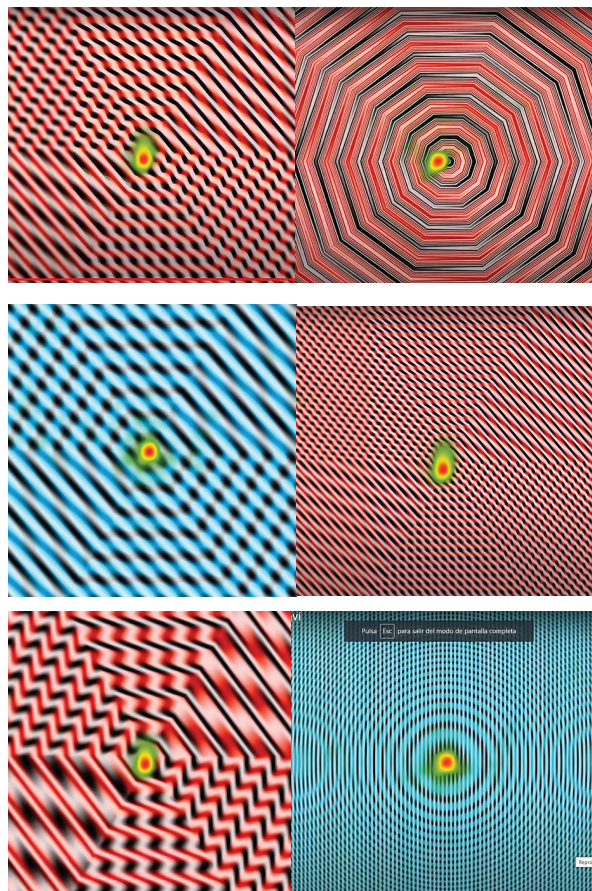


Figura 14 | Mapas de calor de algunos de los participantes alrededor del minuto 3.

turaron su atención, así como sus emociones durante el uso de la misma, a través de las siguientes categorías para medir la usabilidad: Facilidad de Aprendizaje, Eficiencia, Memorabilidad, Errores y Satisfacción (Nielsen, 1994). Los resultados, de carácter puramente descriptivo, servirán para completar la información previamente obtenida.

Resultados

Los resultados de la evaluación demostraron que las fijaciones más prolongadas se concentraron en el área central de la pantalla. El examen de los mapas de calor y las rutas sacádicas reveló cómo el movimiento de las imágenes en la pantalla influyó en los usuarios, induciéndolos a mantener su atención en el centro de forma prolongada. Este fenómeno indica niveles óptimos de concentración, atención y relajación mental en los participantes del estudio.

El análisis de los mapas del calor a través de la comparación de resultados de los participantes evidencian patrones consistentes en los puntos de atención y fijación de

la mirada de todos los participantes. Hay una intensa concentración en la zona central, lo que indica un alto nivel de atención, estados de enfoque y relajación en la mayoría de los participantes. Estos resultados se mantienen a lo largo de los cinco minutos de exposición total de los participantes con la plataforma.

Por una parte, los resultados de la encuesta permitieron visualizar un alto grado de satisfacción en la mayoría de los participantes, así como en la facilidad del uso, la simplicidad y la eficiencia en las tareas solicitadas. La mayoría de los usuarios manifestó sentir estados de relajación posterior a la exposición en la interacción con la pantalla, resultado de la combinación entre los sonidos producidos y las imágenes; expresaron también que la música, así como los colores y las formas, ayudaron a lograr niveles de relajación.

87.5% de los usuarios manifestó que la experiencia sería diferente si se usara en otros dispositivos, como celulares o realidad aumentada, a diferencia del 12.5%, que piensa que no afectaría. En cuanto al tipo de controlador que preferirían para usar la plataforma, 50% prefiere el uso del control ocular, mientras que 37.5% manifestó que le gustaría usarlo con dispositivos de realidad aumentada o realidad virtual; sólo 12.5% preferiría el uso de controladores tipo Dualshock. En cuanto al tiempo que le dedicarían al uso de la plataforma para llegar a estados de relajación, 62.5% manifestó que bastarían de cinco a diez minutos de exposición, frente a 37.5% que considera que un tiempo de cero a cinco minutos sería suficiente.

Acerca de cómo se podría mejorar la plataforma para una mejor experiencia, algunos usuarios sugieren contar con una mayor variedad de formas, poder manipular la vibración de las mismas, evidenciar más la diferencia entre los botones en la interacción, hacer la experiencia aún más inmersiva, generar una guía más fácil para los controladores y aumentar el tiempo de la experiencia, entre otros.

Otras opiniones sugieren la posibilidad de escoger la música o las frecuencias sonoras y poder grabar sus propias piezas musicales para generar más oportunidades de creación. Esto nos deja, en general, una conclusión positiva acerca de la usabilidad del prototipo creado y de la experiencia con el público en la interacción con el *software* a través de la videoinstalación propuesta.

Conclusiones

La experimentación y evaluación de usabilidad y respuestas neurofisiológicas de esta clase de dispositivos e interfaces de control ocular ha sido poco explorada, por lo cual es

pertinente ahondar en este tipo de estudios. Gracias al control ocular de este tipo de dispositivos se abren las posibilidades de presentar una herramienta no sólo artística y de entretenimiento, sino también de carácter terapéutico que proporcione beneficios al usuario y aporte al diseño inclusivo de productos accesibles.

En un futuro se espera mejorar la interacción del *software* con el usuario, reduciendo o simplificando los controles. Se seguirá avanzando en mejoras del *software* y experimentando en integrar otro tipo de sensores gestuales y corporales. La obra resultante de esta investigación se exhibirá en un espacio interactivo con el público, permitiendo su participación mediante el uso de controladores de *software* que exploran elementos propios de la música visual.

La propuesta se articula armónicamente con el modelo para el reconocimiento de obras resultantes de investigación creación en arte, diseño y arquitectura (Colciencias, 2018). Se entiende este proceso en la I+C donde la obra creada es la estrategia para la recolección y el procesamiento de datos, siendo así el soporte metodológico de la indagación y, al tiempo, el producto resultante más relevante de la misma investigación. Es decir, que la práctica creativa alcanza una doble función en I+C: donde la obra misma es la técnica fundamental para explorar posibilidades, recolectando datos y, al tiempo, produciendo la obra.

Por último, la realización de una obra creación a través del uso de tecnologías que exploran la mirada abre un campo de experimentación no sólo en la evaluación, sino en la obra misma, en la realización plástica y sonora que apunta hacia una reflexión sobre la experiencia de la percepción visual en relación con el tiempo de una acción por parte de un público que, a su vez, participa y transforma la obra, además de la creación de representaciones que pongan de relieve diversas manifestaciones de esa experiencia. ●

Referencias

- Aguirre-Grisales, C., Gaviria-Cárdenas, E., Castro-Londoño, V. H., Torres-Cardona, H. F., & Rodríguez-Sotelo, J. L. (2019, julio). Emotion Recognition System Based on EEG Signal Analysis Using Auditory Stimulation: Experimental Design. In International Conference on Human-Computer Interaction, 223-230. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-23528-4_31
- Bergstrom, J. R. & Schall, A. (eds.) (2014). Eye-tracking in user experience design. Elsevier.
- Center for Visual Music (2023). Mary Ellen Bute: reaching for kinetic art. http://www.centerforvisualmusic.org/Bute_Kinetic_Art.pdf

- Cipresso, P., Serino, S., Villani, D., Repetto, C., Sellitti, L., Albani, G., ... & Riva, G. (2012). Is your phone so smart to affect your state? An exploratory study based on psychophysiological measures. *Neurocomputing*, 84, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2011.12.027>
- ColCiencias. (2018). Modelo de medición de grupos de investigación, desarrollo o de innovación y de reconocimiento de investigadores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación. Recuperado de: https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/4_anexo_1_documento_conceptual_del_modelo_de_reconocimiento_y_medicion_de_grupos_de_investigacion_2018.pdf el 20/09/2019.
- Collopy, F. (2023). Rhythmic Light musical visual in the hands of artists. *Timeline*. <https://rhythmiclight.com/timeline/Cycling74>
- Cycling74 (2022). What is Max. <https://cycling74.com/products/max>
- Chhabria, S. A., Dharaskar, R. V., & Thakare, V. M. (2013, diciembre). Intelligent Gesture Recognition to Design more Efficient & Intelligent Multimodal System. In 2013 6th International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 193-194. IEEE.
- Cummins, R. G. (2017). Registro visual. La enciclopedia internacional de métodos de investigación de la comunicación, 1-8. https://www.researchgate.net/profile/Glenn-Cummins/publication/320928368_Eye_Tracking/links/5bb28479a6fdccd3cb81312b/Eye-Tracking.pdf
- Daniels, D. (2017). Absolute Sounding Images: Abstract Film and Radio Drama of the 1920s as complementary forms of a Media-Specific Art. En: H. Rogers & J. Barham (eds.). *The Music and Sound of Experimental Film*, 23-43. Oxford University Press.
- Deleg Aguilar, A. R., & Orellana Marca, J. D. (2021). Prototipo de un sistema de control con mandos a distancia y transmisor de necesidades básicas para personas con discapacidad moderada con Eye Tracker y software libre (Bachelor's thesis). <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19751>
- DeWitt, T. (1987). Visual Music: Searching for an Aesthetic. *Leonardo* 20 (2), 115-123.
- Duchowski, A. T. (2002). A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(4), 455-470. <https://doi.org/10.3758/BF03195475>
- Duchowski, A. T. (2007). Eye tracking techniques. In *Eye tracking methodology*, 51-59. Londres: Springer.
- Evans, B. (2005). Foundations of visual music. *Computer Music Journal*, 29(4), 11-24. <https://doi.org/10.1162/014892605775179955>
- Fink, L. K., Lange, E. B., & Groner, R. (2018). The application of eye-tracking in music research. *Journal of Eye Movement Research*, 11(2). <https://doi.org/10.16910/jemr.11.2.1>
- Fitts, P. M., Jones, R. E., & Milton, J. L. (2005). Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches. *Ergonomics: Psychological mechanisms and models in ergonomics*, 3, 56.
- Garrett, J. J. (2011). *The Elements of User Experience: User-centered Design for the Web and Beyond*. New Riders Pub.
- Goergen, J. P. (1989). *Walter Ruttmann: Eine Dokumentation*. Ed. Freunde der Deutschen Kinemathek.
- Gutiérrez-de Piñeres Botero, C. (2019). Aplicaciones del eye tracking. Gutiérrez-de Piñeres Botero, C. (2019). Registro de movimientos oculares con el eye tracker Mobile Eye XG. Bogotá: Editorial Universidad Católica de Colombia.
- Hassan Montero, Y., & Herrero Solana, V. (2007). Eye-tracking en interacción persona-ordenador. No solo usabilidad (6).
- Hassan, Y., Martín Fernández, F. J., & Iazza, G. (2004). Diseño web centrado en el usuario: usabilidad y arquitectura de la información. *Hipertext. net*, (2). https://www.upf.edu/hipertextnet/numero-2/disenio_web.html?__cf_chl_captcha_tk__=pmd_bd58e24df8f3e18a9e1b001b30cd5873559f85c7-1627067311-0-gqNtZGzNAuKjcnBszQiOç
- Ibb30 (2021). V.S.C.O (Video Sintetizador de Control Ocular App). Youtube. V.S.C.O (Video Sintetizador de Control Ocular App)
- ISO (1998): ISO 9241-11:1998. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) part 11: Guidance on usability. Ginebra: International Organization for Standardization.
- Isbej Carrasco, P. A. (2020). Mecanismos de interacción en videojuegos controlados por eyetracking. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177043>
- Jacob, R. J., & Karn, K. S. (2003). Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. In *The mind's eye*, 573-605. North-Holland. <https://doi.org/10.1016/B978-044451020-4/50031-1>
- Jakobsen, A. L. (2019). Translation technology research with eye tracking. In *The Routledge Handbook of Translation and Technology*, 398-416. Routledge. <https://doi.org/10.4324/978131531125>
- Janthanasub, V., & Meesad, P. (2015). Evaluation of a low-cost eye tracking system for computer input. *Applied Science and Engineering Progress*, 8(3), 185-196.
- Just, M. A., y Carpenter, P. A. (1976). The role of eye-fixation research in cognitive psychology. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 8(2), 139-143. <https://doi.org/10.3758/BF03201761>
- Kandinsky, V. (2018). *De lo espiritual en el arte*. Barcelona: Paidós.
- Kim, G. (2015). *Human-computer interaction*. Auerbach Publications. <https://doi.org/10.1201/b18071>
- Kripper, K. (2023). Vsynth. <https://www.kevinkripper.com/vsynth>
- Mao, J. Y., Vredenburg, K., Smith, P. W., & Carey, T. (2005). The state of user-centered design practice. *Communications of the ACM*, 48(3), 105-109. <https://doi.org/10.1145/1047671.1047677>
- Medien Kunst Netz. (2023). Nam June Paik, Exposition of Music-Electronic Television. <http://www.medienkunstnetz.de/works/exposition-of-music/>

- Méndez-Lazo, S. R., Lazo-del Vallín, S., & Vázquez-Alfonso, Y. (2021). Neuromarketing: explorando la mente del consumidor digital con técnicas biométricas. *Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 123-139. <https://anuarioeco.uo.edu.cu/index.php/aeco/article/view/5221>
- Miranda, E. R., Lloyd, D., Josipovic, Z., & Williams, D. (2014). Creative music neurotechnology with symphony of minds listening. In *Guide to Brain-Computer Music Interfacing*, 271-295. Londres: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6584-2_12
- Miret, A. C., López, R. R., & De Córdoba Herralde, R. (2017). Valoración de sistemas de seguimiento de la mirada con usuarios con discapacidades neuromotoras graves (Doctoral dissertation), Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.48141>
- Mollaghan, A. (2015). *The Visual Music Film*. (Palgrave Studies in Audio-Visual Culture). Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9781137492821>
- Nielsen, J. (1994). Ten Usability Heuristics. UseIt.com
- Nielsen, J., y Pernice, K. (2010). *Eyetracking web usability*. New Riders.
- Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. Basic Books.
- Pelletier, J. M. (2023). *Computer Vision for Jitter cv.jit*. <https://jmpelletier.com/cvjit/>
- Pinegger, A., Hiebel, H., Wriessnegger, S. C., & Müller-Putz, G. R. (2017). Composing only by thought: Novel application of the P300 brain-computer interface. *PLoS one*, 12(9), e0181584. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181584>
- Poole, A. y Ball, L. J. (2006). Eye Tracking en HCI e investigación de usabilidad. En C. Ghaoui (ed.), *Encyclopedia of Human Computer Interaction*, 211-219. IGI Global. <http://doi:10.418/978-1-59140-562-7.ch034>
- Ramos, E. O. B. (2019). Tecnología de seguimiento ocular como alternativa de comunicación para discapacitados/Eye Tracking Technology as an Alternative of Communication for Disabled. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 6(12). <https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/819/1196>
- Reutskaja, E., Nagel, R., Camerer, C. F., & Rangel, A. (2011). Search dynamics in consumer choice under time pressure: An eye-tracking study. *American Economic Review*, 101(2), 900-926. <http://doi:10.1257/aer.101.2.900>
- Roa-Martínez, S. M., & Vidotti, S. A. B. G. (2020). Eye tracking y usabilidad en ambientes informacionales digitales: revisión teórica y propuesta de procedimiento de evaluación. *Transinformação*, 32. <https://doi.org/10.1590/1678-9865202032e190067>
- Rogers, Y., Sharp, H., & Preece, J. (2011). *Interaction design: beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons. [http://prof.mau.ac.ir/images/Uploaded_files/Jenny%20Preece,%20Helen%20Sharp,%20Yvonne%20Rogers-Interaction%20Design_%20Beyond%20Human-Computer%20Interaction-Wiley%20\(2015\)\[369707\].pdf](http://prof.mau.ac.ir/images/Uploaded_files/Jenny%20Preece,%20Helen%20Sharp,%20Yvonne%20Rogers-Interaction%20Design_%20Beyond%20Human-Computer%20Interaction-Wiley%20(2015)[369707].pdf)
- Ron-Angevin, R., García, L., Lespinet-Najib, V., & André, J. M. (2017). Control de un teclado virtual por un paciente mediante el uso de dos tecnologías: eyetracker y sistema BCI. https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/14180/CEA_ROMAN_ANGEVIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sánchez, J. (2011). En busca del Diseño Centrado en el Usuario (DCU): definiciones, técnicas y una propuesta. *No Solo Usabilidad*, (10).
- Sampieri, R. H. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw Hill.
- Shannon, C. E. & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana: University of Illinois Press.
- Salvalaio, B. K., & De Oliveira Ramos, G. (2019, octubre). Self-Adaptive Appearance-Based Eye-Tracking with Online Transfer Learning. In 2019 8th Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS), 383-388. IEEE. doi:10.1109/BRACIS.2019.00074
- Tobii, A. B. (2013). Tobii Pro X2-60 eye tracker. Retrieved on, 16.
- Valero, P., & Arce, J. S. (1994). La perspectiva psicológica en el diseño de interfaces hombre-computador. *Revista de Psicología General y Aplicada: Revista de la Federación Española de Asociaciones de Psicología*, 47(1), 5-11. https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Sanmartin/publication/28182589_La_perspectiva_psicologica_en_el_diseno_de_interfaces_hombre-computador/links/09e4150_adc11518493000000/La-perspectiva-psicologica-en-el-diseno-de-interfaces-hombre-computador.pdf
- Veryzer, R. W., & Borja de Mozota, B. (2005). The impact of user-oriented design on new product development: An examination of fundamental relationships. *Journal of product innovation management*, 22(2), 128-143.
- Vickers, S., Istance, H., & Smalley, M. (2010, November). EyeGuitar: making rhythm based music video games accessible using only eye movements. In Proceedings of the 7th international conference on advances in computer entertainment technology, 36-39.
- Vredenburg, K., Isensee, S., & Righi, C. (2002). *User-Centered Design: An Integrated Approach*, Prentice Hall.
- Zinman, G. (2023). *Handmade Cinema: Practices in Handmade Cinema*. Video. <https://handmadecinema.com/film-practices/>
- Zurawicki, L. (2010). Explorando el cerebro. En: *Neuromarketing*. Springer, Berlín, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77829-5_1