ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.2006

Interactive application through music, dance and digital animation: complexity and creativity for well-being

Edgar Omar López-Caudana[a]*, David Lascurain[b], Karla Cruz[b], Kheri Chavirab[b], Miguel Angel Ogando Bautista[b], David Navarro-Duran[c].
a Institute for the Future of Education, Tecnologico de Monterrey, Mexico City, Mexico. https://orcid.org/0000-0002-1216-4219
b School of Engineering and Sciences, Tecnologico de Monterrey, Mexico City, Mexico.
c School of Engineering and Sciences, Tecnologico de Monterrey, Mexico City, Mexico. https://orcid.org/0000-0001-6632-85760
*Prol. Canal de Miramontes, Coapa, San Bartolo el Chico, Tlalpan, 14380 Ciudad de Mexico, CDMX

Abstract- *The arts and electronics have made it possible to innovate with audiovisual elements in art and entertainment. Still, there is rarely an artistic interaction with these technologies since they are only used to display or show artistic works. This article presents an example of how interactivity with technology plays a vital role in personal and/or collective well-being, as it allows us to take the expression of the human being to the next level. Music, an expression of society's origin, has always been seen as something unchangeable or invariable after being produced as a work, but what would happen if music changed to the will of a human being? This project develops a system that allows a user to control multiple parameters of animations and sounds through their movement through wirelessly interconnected sensors, to create an artistic experience that helps increasing the expression and communication of the user beyond their bodily manifestation, obtaining as a result a creative and innovative proposal to improve the level of expression and well-being of users by achieving Objectives of interaction between Body Movement, Artistic Expression and Technology.*

Keywords: *Wearable technology; Educational Innovation; Wellbeing; Complex thinking; Scientific Thinking; Higher Education.*

Aplicación interactiva a través de la música, la danza y la animación digital: complejidad y creatividad para el bienestar

Edgar Omar López-Caudana[a]*, David Lascurain[b], Karla Cruz[b], Kheri Chavirab[b], Miguel Angel Ogando Bautista[b], David Navarro-Duran[c].
a Institute for the Future of Education, Tecnologico de Monterrey, Mexico City, Mexico. https://orcid.org/0000-0002-1216-4219
b School of Engineering and Sciences, Tecnologico de Monterrey, Mexico City, Mexico.
c School of Engineering and Sciences, Tecnologico de Monterrey, Mexico City, Mexico. https://orcid.org/0000-0001-6632-85760
*Prol. Canal de Miramontes, Coapa, San Bartolo el Chico, Tlalpan, 14380 Ciudad de Mexico, CDMX

Resumen– *Las artes y la electrónica han permitido innovar con elementos audiovisuales en el mundo del arte y espectáculo, pero pocas veces se ve una interacción artística con estas tecnologías ya que solo se usan con la finalidad de desplegar o mostrar obras artísticas. Este artículo presenta un ejemplo de cómo la interactividad con tecnología juega un papel importante en el bienestar personal y/o colectivo, ya que nos permite llevar a un siguiente nivel la expresión del ser humano. La música siendo una expresión de origen de la sociedad siempre se ha visto como algo inmodificable o invariable después de haberse producido como una obra, pero ¿qué pasaría si la música cambiará a la voluntad de un ser humano? Este proyecto desarrolla un sistema que permita a un*

usuario controlar múltiples parámetros de animaciones y sonidos a través de su movimiento por medio de sensores interconectados de forma inalámbrica, con la finalidad de crear una experiencia artística que permita aumentar la expresión y comunicación del usuario más allá de su manifestación corporal, obteniendo como resultado una propuesta creativa e innovadora para mejorar el nivel de expresión y bienestar de los usuarios al lograrse objetivos de interacción entre el movimiento corporal, expresión artística y tecnología.

KEYWORDS: TECNOLOGÍA VESTIBLE; INNOVACIÓN EDUCATIVA, PENSAMIENTO COMPLEJO, PENSAMIENTO CIENTÍFICO, EDUCACIÓN SUPERIOR.

I. Introducción

En el ámbito comercial y visual existen elementos y juegos como Dance Central o Just Dance, que entre otros usan el movimiento de la persona como un elemento de entrada a sistemas que cuentan con animaciones y música. Algunos ejemplos son:

- SingStar Dance - PlayStation 3®

  Este juego usa Motion Tracking con el sistema de control PlayStation Move en donde la cámara registra primero electrónicamente las dimensiones de cada jugador y, a continuación, capta todos sus movimientos de baile.

- Your Shape – Wii®

  Este juego cuenta con una cámara incorporada la cual analiza los movimientos del jugador siguiendo sus movimientos. El programa permite a los jugadores escanear sus cuerpos y mostrar sus imágenes en la pantalla del televisor. Con motion tracking rastrea todos sus movimientos en tiempo real y lo ayuda a realizar todos sus ejercicios físicos de manera consciente y efectiva.

Figura 1 Ejemplo de imágenes de juegos o aplicaciones comercialesde interactividad con música: SingStar Dance, Your Shape-Wii,

Estos juegos pueden competir contra el sistema a realizar, sin embargo, estos son para plataformas de videojuegos en específicas y ya son tecnología en desuso, de igual forma en estos softwares tú sigues a la música y tienen propósitos más físicos. Este documento muestra las características del sistema interactivo a través de la música y la danza (IMDA), que presenta un sistema compatible con cualquier monitor, con música sigue al usuario y tiene un fin más artístico en donde se crean efectos visuales.

En el lado académico, ya existen algunas propuestas que hacen uso de datos biométricos para influenciar la música dentro de una experiencia artística. VARM es un sistema que utiliza sensores de electromiografía y posición relativa MYO colocados en el brazo de una bailarina y el abdomen de un pianista; en este, la bailarina le provee de información acerca de los movimientos de su cuerpo siendo interpretada como vibraciones por el pianista, el cual reacciona a las mismas modificando el tempo y ritmo de la ejecución de la pieza musical que se está llevando a cabo (Michailidis et al., 2018).

Por otro lado, Tibet es una pieza musical ejecutada con tazones de cristal, los cuales producen sonido al ser frotados en su borde, donde el artista que ejecuta la obra cuenta con sensores cuyo funcionamiento es similar a los mencionados anteriormente a lo largo de su brazo. El sistema permite que se amplifiquen

los sonidos producidos por los tazones, que se produzca el mismo sonido sin tocarlos e incluso amplificar el sonido proveniente del dispositivo al cual están conectados los sensores (Tanaka et al, 2002).

En el ámbito de exposiciones artísticas, en los años pasados han habido exposiciones "interactivas" de arte, un ejemplo de ellas es la exposición "Starry Nights" por CULTURAL SPACES. Esta exposición hizo que las pinturas de Van Gigh cobrarán vida, en ella se usaron 140 proyectores de video láser, la música estaba emitida por 50 altavoces, y fue definida como una "experiencia sensorial, musical y estética". En este ejemplo se usaron animaciones y un display como el que se planea usar en el proyecto de IMDA, sin embargo, no incluye nada de movimiento como la danza.

Figura 2 Starry Nights de Cultural Spaces (Smithsonian Magazine, 2020)

Otro ejemplo de estas exposiciones interactivas es Awaken 1 por BREAKFAST, en esta exposición se combinó la ciencia, la ingeniería mecánica y la belleza estética para crear instalaciones interactivas. Estas tenían forma de ladrillo que podían rotar en ambas direcciones. De igual forma, se creó en esta exposición una pared reflectante hecha de 168 brixels (bloques rectangulares con superficie reflejante) que se mueven de acuerdo con los movimientos de una persona. Esta pantalla puede ser usada como un lienzo para dibujar con la mano en el aire y explorar la interacción humana con la tecnología.

Figura 3 Awaken 1 (BreakfastStudio, 2020).

Un proyecto con características similares a IMDA se llama Point Motion: Make Music with your Body Movement (Point Motion, 2022). Este proyecto es una revolucionaria cámara de control de movimiento que convierte el movimiento del cuerpo en sonidos y música únicos. Funciona gracias a una cámara que rastrea los movimientos del usuario y manda los datos a la computadora. Fue pensado como una solución para tener una forma más amigable de dar clases a distancia o presentaciones sin poner en riesgo a la computadora. De igual forma, cuenta con una aplicación para celular para que se pueda personalizar.

Figura 4 Point Motion Hardware, tomada de (Point Motion, 2022).

Otro proyecto similar, se llama Make music with Body Synth (Philpis, 2028). Este proyecto permite a cada usuario una sesión de 30 minutos en donde se usa la cámara de tu computadora para transformar los movimientos del cuerpo en sonido, usa elementos visuales en pantalla para generar sonidos interactivos utilizando el motor Body Synth de Google. Este proyecto es más un taller de arte que ayuda a las personas a aprender a usar sus sentidos para conectar con su entorno mientras ayuda a la confianza y a la expresión personal.

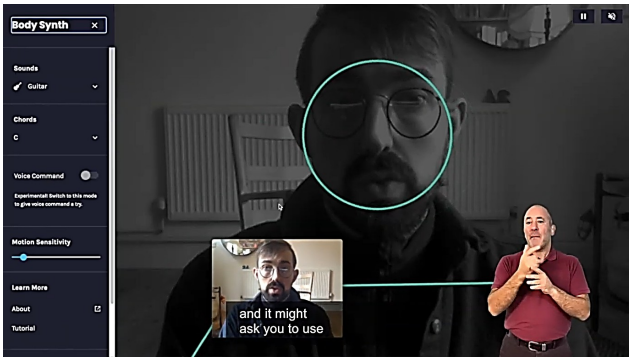

Figura 5 Google Body Synth, tomada de (Philips, 2018)

En (Takashahi et al, 1999), se establece un sistema que crea música gracias a un ambiente audiovisual. El sistema consiste en un analizador de imagen, un analizador de sonido y un generador de música. Este permite a los usuarios crear música con su movimiento si no también tener retroalimentación audiovisual en tiempo real.

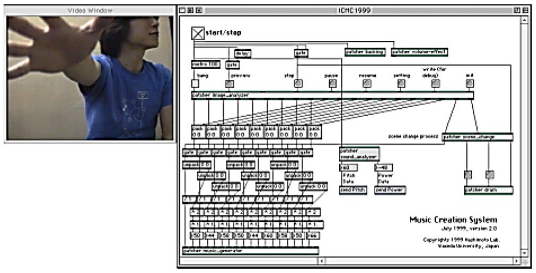

Figura 6 Music Creation from (Takashashi, et al, 1999).

La siguiente tabla muestra la comparación entre las características de Point Motion, Make Music with your Body Synth, Music Creation from Moving Image and Environmental Sound, e IM

Tabla 1 Tabla comparativa de proyectos similares

Característica	Point Motion	Google Body Synth	MCM EIES	IMDA
Entrada	Cámara del sistema o de un dispositivo externo	Cámara de la computadora en donde se está ejecutando	Cámara y micrófono de la computadora donde se esté ejecutando	Sensores de aceleración y monitor de frecuencia cardiaca
Procesamiento	Computadora o dispositivo externo	Computadora en donde se está ejecutando. Google AI	Computadora en donde se está ejecutando	Computadora externa
Producción de sonidos	A través de la información de entrada	A través de la información de entrada	A través de la interfaz	A partir de la información de entrada
Modificación de las características de los sonidos	A través de la interfaz	A través de la interfaz	A través de la información de entrada	A partir de la información de entrada
Producción y modificación de las características de animaciones	N/A	N/A	N/A	A partir de la información de entrada

Para analizar proyectos desarrollados parecidos a IMDA y en que países se han publicado artículos de estos temas, se realizó una búsqueda sistemática de

literatura, encontrando 286 artículos del 2016 hasta la fecha, con dos bases de datos que fueron Web of Science y Scopus, con las palabras claves: animation, interactive, steam, engineering, dance. Una vez teniendo los artículos se filtraron y se buscó de que país era cada artículo, dando como resultado que Estados Unidos con 61 artículos, China con 32 y Reino Unido con 23 fueron los países con más artículos publicados.

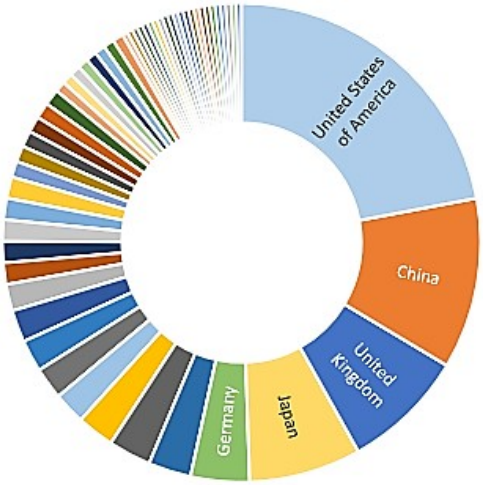

Figura 7 Búsqueda de artículos por país de procedencia de SCOPUS y WOS (2024).

Es importante resaltar que para nuestro interés, en México y Latinoamérica este tema es muy poco explorado lo que muestra una aportación en la región mencionada y se espera sea motivo de interés para el resto de la comunidad académica.

Escenarios complejos y su relación con el bienestar

Varias de las propuestas encontradas, se relacionan por el hecho de centrarse en la creación de obras de arte basadas en software y hardware, con una visión que conecte a los espectadores con sus emociones a través de experiencias interactivas y. Estas posibilidades son complejas, pero muestran las características que las principales universidades marcan como una tendencia hacia el pensamiento complejo en escenarios reales, basados en áreas como la creatividad, la innovación, lo sistémico y el pensamiento científico (Sanabria et al, 2022).

Molina et al, (2022) establece un análisis sobre la ciencia desde la sociedad y su aportación hacia el conocimiento en escenarios complejos. Los proyectos de ciencia ciudadana (CC) han sido impulsados por tecnologías y empoderamiento de las comunidades pero su impacto es impreciso por las dificultades para su seguimiento y estandarización. En particular, el desarrollo del pensamiento complejo de los ciudadanos no figura entre sus objetivos, a pesar del fuerte vínculo con la Educación 4.0 y la formación de ciudadanos comprometidos con la sociedad, como lo establece la UNESCO (McGreal et al, 2022).

(Suaréz et al, 2022) establece que desde la pandemia del COVID-19, el uso de Recursos Educativos Abiertos (REA) se ha incrementado debido a sus ventajas para las actividades académicas y la calidad educativa. Por tanto, las Universidades han buscado desarrollar propuestas para promover actividades curriculares y extracurriculares que favorezcan el desarrollo de competencias disciplinares y transversales como el pensamiento complejo y sus metacompetencias: pensamiento crítico, sistémico, científico e innovador, orientadas a favorecer la resolución de problemas en escenarios reales. Considerando lo anterior, y uniendo la tecnología con el arte para el bienestar, esta propuesta fue parte del proyecto final presentado por alumnos de la carrera de Ingeniería en Electrónica y asesorado por profesores del Departamento de Mecatrónica del Tecnologico de Monterrey, Campus Ciudad de México.

II. Metodología

Para este sistema se implementó una metodología apoyada en SCRUM® lo cual nos permitió tener un desarrollo continuo y lleno de pruebas, siguiendo

este esquema también se propuso llegar a tener un sistema mínimo funcional lo antes posible. El diseño propuesto para IMDA se explica a continuación.

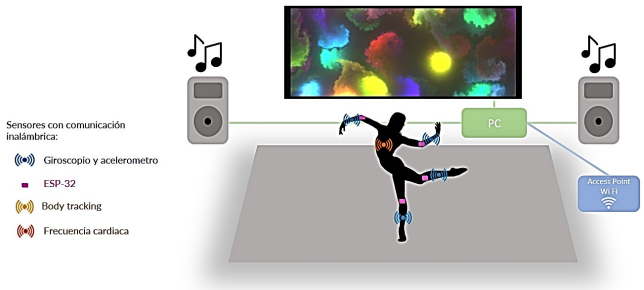

Figura 8 Diagrama funcional del Sistema IMDA

Con base a este diseño se le dio prioridad a lo más importante que se identificó que es el desarrollo de sistema de comunicación entre ESP-32 y la computadora, y se trazó una ruta crítica que se maneja por módulos, los elementos en azul son los elementos que se abordaron en esta primera etapa. Ver la figura 9.

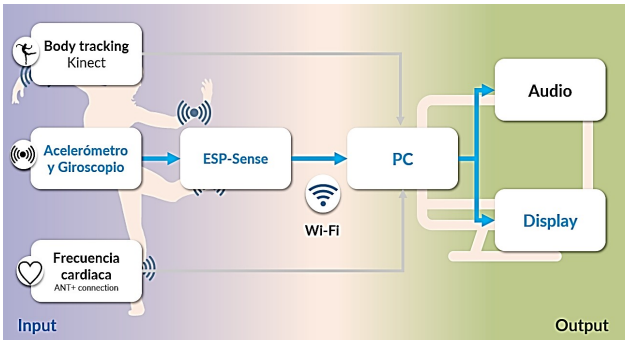

Figura 9 Diagrama funcional de bloques lógico

Y este funcionamiento cuenta principalmente con el desarrollo de tres secciones:

- ESP-Sense
  - Modulo conformado por ESP-32 con sensor de aceleración y giroscopio MPU6050 y su alimentación. Censa los datos entregados por el MPU6050 y los manda por WiFi a ComLinK
- ComLinK
  - Software desarrollado usando la API .NET de Microsoft en la plataforma de Windows Forms que tiene la finalidad de recibir y monitorear los datos recibidos de ESP-Sense y de la misma forma reenviarlos a Animod.
- Animod
  - Software desarrollado usando Unity que tiene a la entrada un módulo UDP para el despliegue de animaciones y audio.

Habiendo abordado los temas de interés el desarrollo se manejó en 3 módulos principales, los cuales fueron validados de forma individual, estos 3 módulos se caracterizan por ser independientes y diseñados con el propósito de tener una fácil integración al momento de unir los elementos. En la siguiente sección se describe con más detalle los elementos previamente mencionados

III. Desarrollo de la propuesta

En esta sección se describe a detalles cada uno de los elementos usados dentro del desarrollo de la propuesta, iniciando con el ESP-sense tanto la parte de hardware y software. Posteriormente se presenta el desarrollo en Comlink que sirve de interfaz entre ESP-sense y Animod. Y por último se presenta el como los datos generados por ESP-sense y transmitidos por medio de Comlink se pueden desplegar y usar para la modificación de las animaciones generadas dentro de Animod.

3.1 ESP-Sense

Hardware

El hardware utilizado para cada módulo ESP-32 SENSE es:

- 2 pilas 3.7 V Li-ion 18650
- Sensor MPU6050
- ESP-32 mini D
- PCB

- Switch ON/OFF
- Carcasa de sistema

Se desarrolló un sistema de comunicación entre una ESP-32 con una laptop mediante WiFi, con el propósito de recibir información de los sensores MPU 6050 conectados a la ESP-32 mediante UDP utilizando un punto de acceso TP-LINK, haciendo que no se dependa de un solo lugar para poder hacer funcionar el proyecto. El código de la ESP-32 fue realizado con el IDE de Arduino.

El sistema consta de 5 módulos montables con velcro y en cada uno se encuentra una o dos pilas recargables Li ion 18650 de 3.7V, un sensor MPU 6050, una ESP-32 mini D y una PCB capaz de albergar los elementos descritos. Cabe mencionar que para este sistema se diseñó una protección de corriente inversa y un sistema de encendido y apagado, a continuación podemos observar algunas imágenes en las cuales se puede apreciar un módulo ESP-Sense.

Software

Como podemos observar cada módulo cuenta con conectividad WiFi + Bluetooth el cual nos permitirá realizar una conexión directa con la PC, cabe mencionar que se seleccionó el protocolo UDP sobre el TCP/IP debido a sus aplicaciones comunes en tiempo real como lo pueden ser las aplicaciones de teleconferencia que tienen como prioridad el tiempo de entrega, y en este caso se requería una respuesta de baja latencia para lograr percibir los movimientos del usuario.

Figura 10 Comunicación ESP-32 a PC

Para hacer funcionar el sistema anteriormente mencionado, primero se tuvo que configurar nuestro punto de acceso, se usó la configuración como un punto de acceso, ya que el modelo que fue elegido que es TP-Link TL-WR840N puede actuar como router de igual forma. En el código de Arduino se configura el SSID y la contraseña del punto de acceso como se muestra en la siguiente imagen.

```
// WiFi network name and password:
const char * networkName = "TP-Link_0C84";
const char * networkPswd = "24395816";
```

Figura 11 Configuración de red en ESP-Sense

Una vez teniendo configurado la parte del WiFi, se configura la IP del dispositivo y el puerto por el cual se van a recibir los datos por UDP como se muestra en la siguiente imagen.

```
const char * udpAddress = "192.168.
const int udpPort = 3333;
```

Figura 12 Configuración UDP en ESP-Sense

Del lado del receptor de igual forma se tiene que poner la IP del dispositivo y el puerto por el cual se van a mandar los datos UDP como se muestra en la siguiente imagen, cabe mencionar que la imagen a mostrar es de una aplicación para celular con la cual se hicieron pruebas.

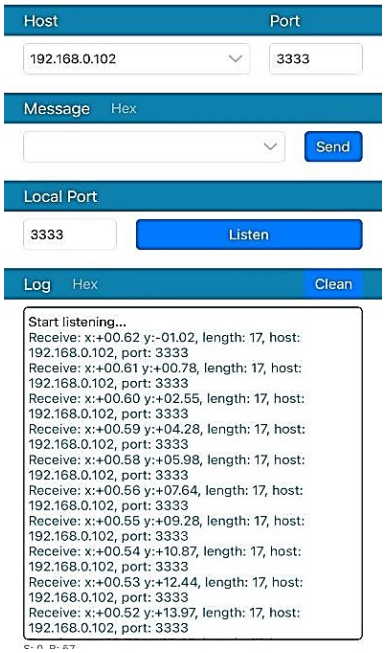

Figura 13 Configuración UDP en un IPhone

Una vez teniendo las configuraciones del receptor y el transmisor, comienza la transmisión de datos. La ESP-32 se conecta al WiFi y se muestra un mensaje en serial “WiFi connected, IP address: …“.

Solamente cuando está conectado al WiFi es que los datos se mandan y se muestran los datos obtenidos del sensor como se ve a continuación.

Figura 14 Recepción de datos en un celular IPhone.

Esta conexión se implementó de forma indolora con Comlink dado ya que se había verificado la comunicación y envío de datos usando UDP a través de una red local.

El grado de inclinación en el plano XY y YZ se miden utilizando las siguientes fórmulas:

$$\theta_{XZ} = tan^{-1}\left(\frac{a_Y}{\sqrt{a_X^2+a_Z^2}}\right)\left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (1)$$

$$\theta_{YZ} = tan^{-1}\left(\frac{-a_X}{\sqrt{a_Y^2+a_Z^2}}\right)\left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (2)$$

donde a es la aceleración lineal y el subíndice indica en qué eje se percibe.

Para obtener una respuesta que no contenga variaciones bruscas se implementó el uso del filtro complementario, el cual hace uso de las mediciones obtenidas por el acelerómetro y el giroscopio, así como de valores obtenidos previamente para calcular la inclinación; las fórmulas que implementa se muestran a continuación:

$$\alpha_{XZ,n} = 0.98\left(\alpha_{XZ,n-1} + \frac{\omega_X \Delta t}{131}\right) + 0.02\theta_{XZ} \quad (3)$$

$$\alpha_{YZ,n} = 0.98\left(\alpha_{YZ,n-1} + \frac{\omega_Y \Delta t}{131}\right) + 0.02\theta_{YZ} \quad (4)$$

donde:

- XZ, n-1 es el ángulo de inclinación previamente obtenido.
- es la velocidad angular y el subíndice indica en qué eje se percibe.
- t es la diferencia de tiempo que hay entre la toma de mediciones actual y la pasada.

Los datos son recolectados y enviados en un String de formato y longitud fija para facilitar su recepción; este se muestra a continuación:

BD{xz:-23.45,yz:+34.32,x:-05.86,y:+08.26,z:-13.59}

Figura 15 Formato de envío de datos

Los primeros dos caracteres indican de qué sensor proviene la información, siendo catalogada por la parte del cuerpo y el lado sobre el cual está montado. Los primeros dos datos recibidos son la inclinación del sensor en el plano xz y xz, con medidas de 90 a -90 grados. Los siguientes tres son la aceleración lineal, medida en m/s^2, que percibe el sensor en el eje x, y, y z; en este último es importante recordar que el sensor está bajo los efectos de la gravedad, por lo que esta se ve reflejada como un offset en las mediciones.

3.2 **ComLinK**

ComLink es un Software desarrollado en el framework .NET 4 cuyo propósito es recibir la información del módulo concentrador proveniente de los múltiples sensores, desplegarla visualmente para que pueda ser monitoreada, procesarla y transmitirla a Animod cuando sea requerida con el formato solicitado; este se comunica con el resto de los módulos a través del protocolo UDP. Se realizaron dos versiones de este sistema con la finalidad de lograr hacer pruebas de forma simultánea con distintos propósitos.

ComLinK vK estructuralmente se componen de dos servidores UDP, cada uno corriendo en un hilo independiente al que se encarga de la interfaz

gráfica con el fin de optimizar el rendimiento. El primero se conecta con Sense a través del puerto 3333 y se encarga de recibir la información proveniente de los sensores, procesarla, y desplegarla para facilitar su análisis. Por otro lado, ComLinK se comunica con Animod por medio del puerto 42069 y responde ante sus peticiones de información con los datos que sean solicitados. Es de importancia destacar que los procesos de comunicación UDP pueden ser detenidos y reanudados de forma independiente sin detener el proceso principal gracias al uso de múltiples hilos durante el desarrollo del programa.

3.2.1 **Recepción de ESP-32**

ComLinK recibe la información enviada por Sense a través de un String como se muestra a continuación:

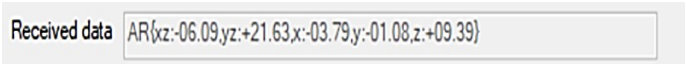

Figura 16 Recepción de datos

Los datos son extraídos del String y clasificados de acuerdo a su origen, es decir la extremidad de la cual fueron recaudados, y su tipo, ya sea inclinación en un plano o aceleración lineal. Posteriormente estos son mostrados individualmente en su espacio correspondiente dentro de la interfaz gráfica.

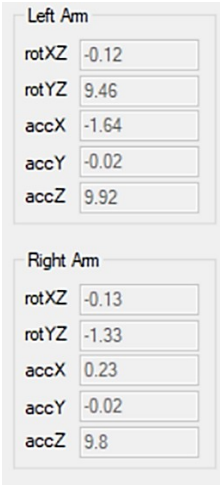

Figura 17 Clasificación de datos por origen y tipo

Si es requerido, se puede seleccionar cualquiera de los datos para que sea desplegado visualmente en una gráfica. Los límites superiores e inferiores, las leyendas, el intervalo entre tics y el título son ajustados automáticamente de acuerdo al dato que sea seleccionado para facilitar su visualización e interpretación.

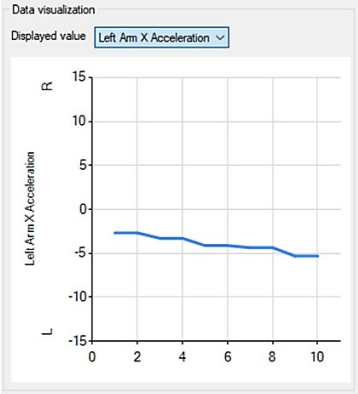

Figura 18 Despliegue visual de los datos

3.2.2 **Comunicación con Animod**

Como fue descrito anteriormente, Animod envía requests a ComLinK por medio del puerto UDP 42069 a los cuales ComLinK responde con el último dato recibido del tipo y plano o eje que sea solicitado, ya sea de inclinación o de aceleración. Este intercambio de mensajes se despliega en un historial de chat donde se detalla la dirección IP del dispositivo que envía el mensaje, la fecha y hora de envío, y el mensaje; esto permite inspeccionar la comunicación entre ambos softwares, así como poder identificar y corregir cualquier error que surja en el sistema.

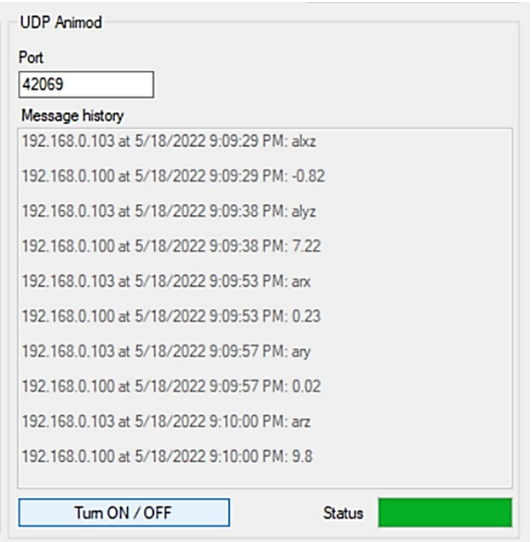

Figura 19 Recepción de peticiones y envío de información

3.3. Animod

Este software fue desarrollado en Unity 2020.3.32f1 y tiene como funcionalidad recibir datos por el protocolo UDP y crear animaciones, con base en los datos recibidos también se generarán elementos musicales que permita darle musicalidad, cabe mencionar que se busca un estilo neón y para esto se implementó post-procesado.

La conexión por UDP con ComLinK es en una configuración Loopback en la dirección IP 127.0.0.1 por el puerto 42069 que nos permite mandar información de un programa a otro a alta velocidad, Animod actúa como cliente y ComLink toma el papel de servidor. Esto se puede configurar directamente en el editor, cabe mencionar que se implementó un Watchdog de 20ms que asegura que se haga otra solicitud en caso de que no se haya recibido respuesta por parte de ComLinK.

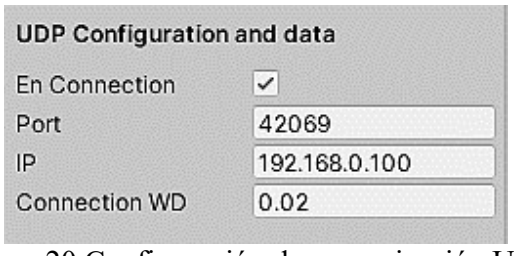

Figura 20 Configuración de comunicación UDP

Se desarrolló un subsistema que permite definir en el editor que tipo de datos se van a solicitar, esto se hace usando string que cuenta con dos secciones, siendo la primera perteneciente a la extremidad a la que pertenece el dato y la segunda parte definiendo qué dato del correspondiente ESP-Sense.

Tabla 2 Strings de solicitud de Animod a ComLinK

Parte del cuerpo	Dato solicitado	Ejemplo
- Brazo derecho ar - Brazo izquierdo al - Torso o centro c - Pierna derecha fr - Pierna izquierda fl	- Rotación “x” xz - Rotación “y” yz - Aceleración “x” x - Aceleración “y” y - Aceleración “z” z	String: “alyz” Solicitud de Rotación en “y” del brazo izquierdo

Respetando los strings de solicitud en el editor se puede definir los datos que se van a pedir y de que extremidades, se busca en un futuro que se pueda personalizar la solicitud de cada extremidad, pero por el momento a todas las extremidades agregadas se le solicitan los mismos datos.

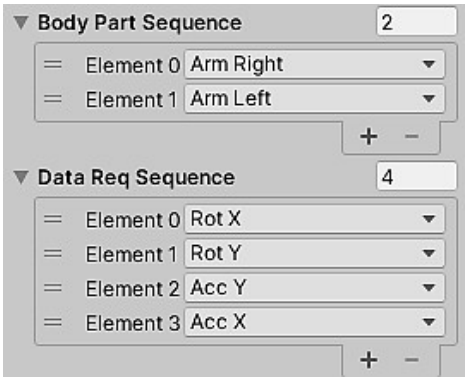

Figura 21 Sistema para seleccionar la información a solicitar

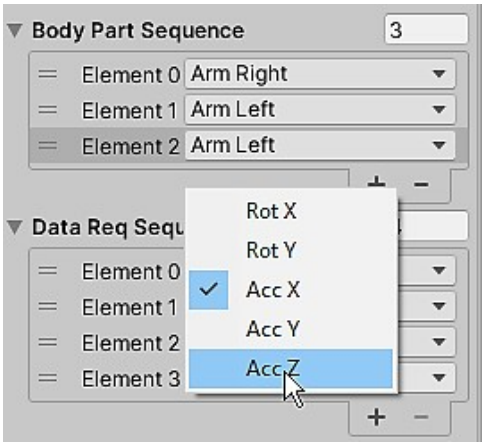

Figura 22 Selección de dato a solicitar

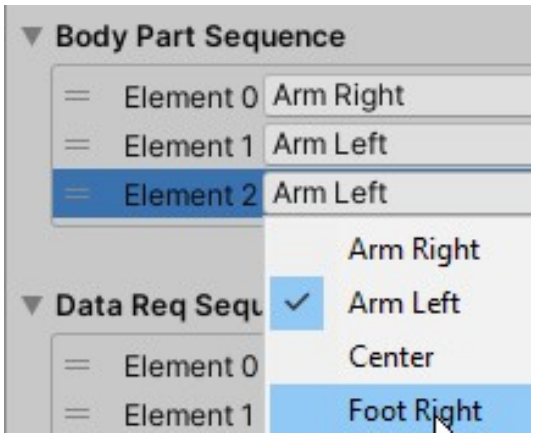

Figura 23 Selección de extremidad

Para este desarrollo se usó programación orientada a objetos y manejo de hilos para desempeñar funciones de UDP, esto con el objetivo de no afectar el rendimiento del motor gráfico. Los datos recibidos en Animod por UDP serán desplegados pertinentemente en la interfaz del editor.

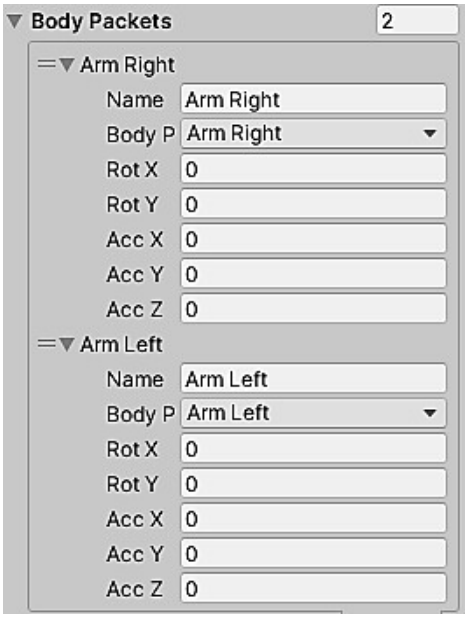

Figura 24 Despliegue de información leída en ComLinK

El acoplamiento de datos a animaciones se puede hacer de forma dinámica usando el editor de Unity, es decir que no es necesario escribir más líneas de código para acoplar animaciones. Usando los conocimientos de Unity se logró crear un sistema flexible que permite acoplar distintos tipos de animaciones a distintos tipos de entrada, esto por supuesto usando un mapeo oportuno dependiendo de la escena en la cual se encuentren los objetos.

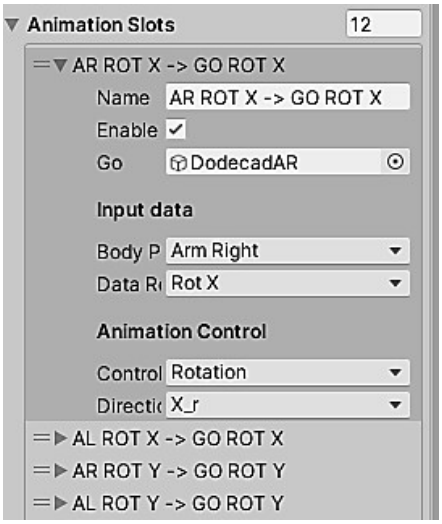

Figura 25 Interfaz de acoplamiento de animaciones con datos de entrada

Usando el editor se puede enlazar cualquier tipo de dato recibido a un parámetro de dicho objeto, estos parámetros son los siguientes:

Tabla 3 Parámetros de animaciones

Parámetro	Dirección o característica
Rotación Posición Tamaño	X Y Z
Color	R G B

Para una primera prueba se acoplaron dos objetos de juego de la siguiente forma, a estos dos elementos se le agregaron un sistema de partículas.

Tabla 4 Configuración para pruebas

Parte del cuerpo	Dato de entrada	Control de animación
Brazo izquierdo	Rotación en plano “x”	Rotación de objeto en plano “x”
	Rotación en plano “y”	Rotación de objeto en plano “y”
	Aceleración en “x”	Posición de objeto en “x”
	Aceleración en “y”	Posición de objeto en “y”
	Rotación en plano “x”	Color de objeto canal G
	Rotación en plano “y”	Color de objeto canal R
Brazo derecho	Rotación en plano “x”	Rotación de objeto en plano “x”
	Rotación en plano “y”	Rotación de objeto en plano “y”
	Aceleración en “x”	Posición de objeto en “x”
	Aceleración en “y”	Posición de objeto en “y”
	Rotación en plano “x”	Color de objeto canal B
	Rotación en plano “y”	Color de objeto canal G

Dicho esto, se montó la siguiente escena en la cual podemos ver dos elementos en pantalla de los cuales dependiendo de sus parámetros cambiarán de posición, color y rotación de forma dinámica, esto respectivamente con la tabla anterior.

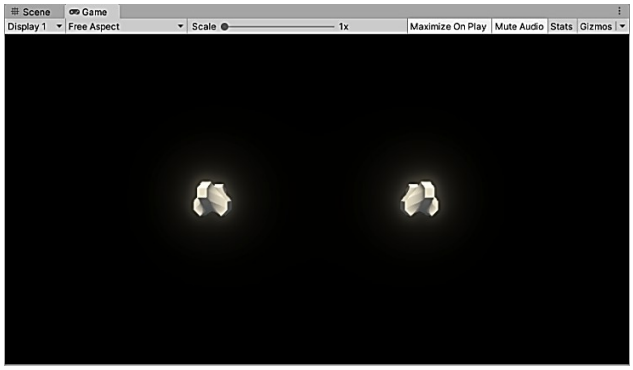

Figura 26 Contenido gráfico Analog Scene V2

También se integró un filtro de interpolación linear en el tiempo debido a que los datos recibidos de aceleración son muy sensibles y brincaban mucho entre un valor a otro, esto añade un pequeño retraso sin embargo no es apreciable con propósitos artísticos o de latencia dentro del sistema.

IV. Resultados

4.1 Trigger Scene

En esta escena se logra recibir elementos en forma de strings a través de UDP que activan distintas animaciones en 9 posiciones distintas, estos triggers también pueden ser activados de forma manual. Cabe mencionar que los colores de las esferas periféricas cambian de manera dinámica con cada inicialización del programa la esfera de en medio (posición 5) siempre será color rojo, esto se puede modificar fácilmente para que también sea dinámico o fijar los colores.

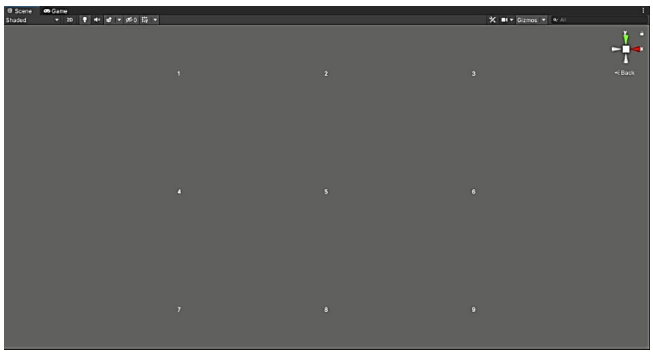

Figura 27 Posicionamiento de las animaciones por trigger

Controles Manuales

- Ctrl: instancia una esfera en la posición seleccionada actual
- Flechas ←↑↓→ : permite seleccionar una posición
- Combinaciones:
  - ←↑ + Ctrl: instanciar esfera en posición 1
  - ↑ + Ctrl: instanciar esfera en posición 2
  - →↑ + Ctrl: instanciar esfera en posición 3
  - ← + Ctrl: instanciar esfera en posición 4
  - Ctrl: instanciar esfera en posición 5
  - → + Ctrl: instanciar esfera en posición 6
  - ←↓ + Ctrl: instanciar esfera en posición 7
  - ↓ + Ctrl: instanciar esfera en posición 8
  - →↓ + Ctrl: instanciar esfera en posición 9

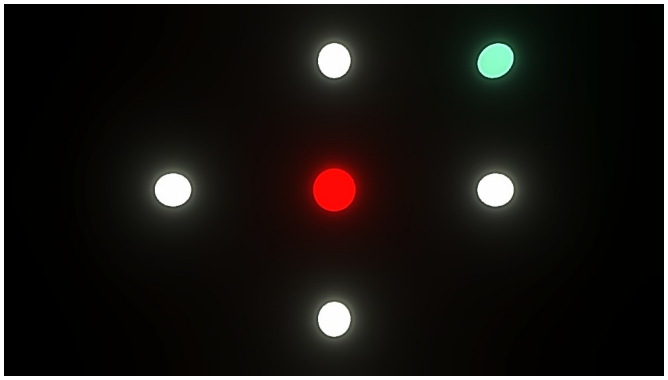

Figura 28 Esferas instanciadas de forma manual en posiciones: 2, 3, 4, 5, 6, 8

Para hacer pruebas iniciales se usó un string genérico de request (“r”) por UDP. Esto nos permite solicitar datos a ComLinK, el cual si tiene datos disponibles nos responderá de forma inmediata con un dato tipo “int” empaquetado en un string, si no cuenta con datos contesta con el String “w” de wait. El dato recibido es una flag que va de 1 a 9 el cual indicará en qué posición se tiene que instanciar de forma temporal una esfera. Esto se programó de forma que Animod hará estas solicitudes en un hilo independiente para no afectar el desempeño de las animaciones.

4.2 Analog Scene

Para recibir datos analógicos se usarán números tipo float, para esto se implementa una esfera de color blanco la cual se desplazará dependiendo de la rotación que nos envie el ComLink.

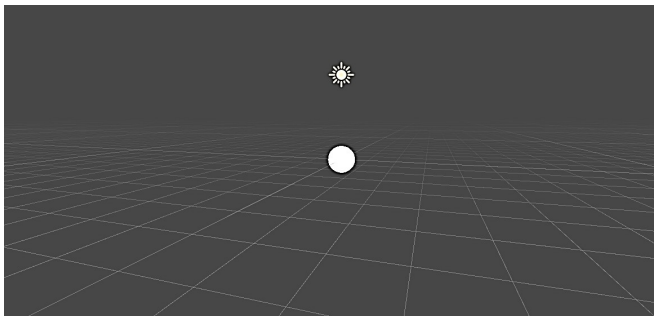

Figura 29 Analog Scene en editor

En este caso solo usaremos un sensor y haremos request de la información con las siguientes flags:

- String “x”: Solicitar datos de rotación en el eje x
- String “y”: Solicitar datos de rotación en el eje y.

Dicho esto, se reciben los datos y se mapean de forma dinámica a partir del rango de -90 a 90 grados a otro rango de movimiento para la esfera con la finalidad de que se logre apreciar en la pantalla. Ya obteniendo esta retroalimentación se pueden usar dichos valores para definir otras animaciones.

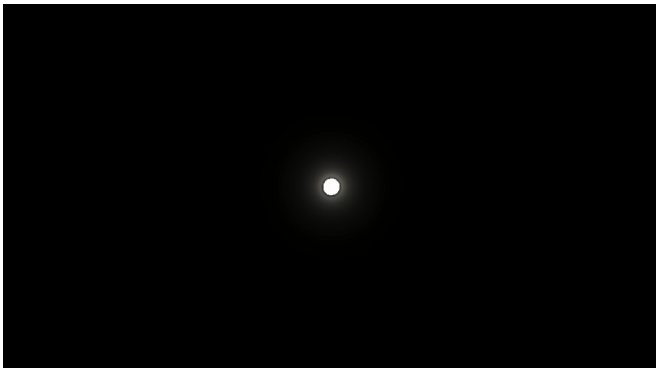

Figura 30 Analog Scene corriendo

Para contar con una escena más representativa se usaron las bases de la escena "Analog Scene" y se propuso una demostración que fuera capaz de recibir los valores de dos módulos ESP-Sense.

4.3 Integración de sistema

Para la integración del sistema se implementaron las dos muñequeras con ESP-Sense en conjunto con ComLinK y Animod. Se hicieron pruebas usando los dos brazos y siguiendo lo que se colocó en la Tabla 4 se logró comprobar que el movimiento correspondiente de los brazos afectaba los parámetros designados de los objetos en escena.

Figura 31 Prueba completa de sistema – usuario y laptop

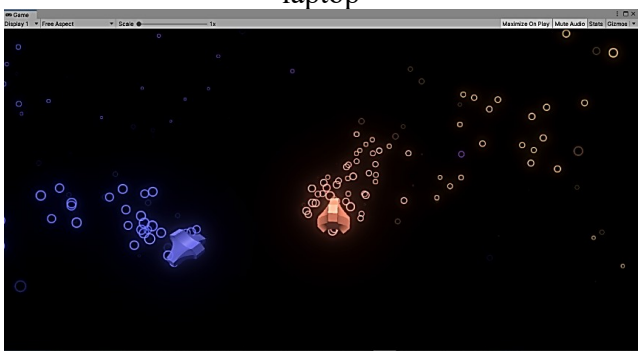

Figura 32 Captura de pantalla de Animod en acción

Pieza musical

Se decidió llamar pieza dancística y no coreografía ya que se quiere que cada que se presente el proyecto los usuarios y espectadores tengan una experiencia distinta. Esta pieza artística tiene una premisa del fuego y hielo y cómo es que estos elementos se complementan, de igual forma siempre va a empezar lento y va a ir subiendo la velocidad. Esto con la finalidad de demostrar el correcto funcionamiento del sistema.

Pieza dancística

Se decidió llamar pieza dancística y no coreografía ya que se quiere que cada que se presente el proyecto los usuarios y espectadores tengan una experiencia distinta. Esta pieza artística tiene una premisa del fuego y hielo y cómo es que estos elementos se complementan, de igual forma siempre va a empezar lento y va a ir subiendo la velocidad. Esto con la finalidad de demostrar el correcto funcionamiento del sistema.

V. Análisis de resultados

Como se menciona con anterioridad en este proyecto se implementó una metodología ágil SCRUM, uno de los estatutos más importantes de esta metodología es hacer pruebas constantes y enfocarse en tener un MVP (Minimum Viable Product) lo antes posible, este enfoque permitió diseñar y desarrollar de forma modular el sistema.

Las pruebas se dividieron en tres etapas secuenciales:

- Etapa de módulos
  - Pruebas semanales de los módulos de integración (ESP-Sense, Animod o ComLinK)
- Etapa de conexión
  - Pruebas semanales de conexión entre módulos
    - ESP-Sense <=> ComLinK
    - ComLinK <=> Animod
- Etapa de integración
  - Pruebas bisemanales de integración y mejoramiento del sistema completo

Estas pruebas dieron resultados favorables, el protocolo se validaba en un Trello Board donde se documentó cada avance, iteración o cambio dentro del proyecto. A continuación hacemos un resumen de los resultados obtenidos.

La comunicación entre módulos es de manera rápida y es apta para la interacción humana. Por módulos nos referimos a ESP-32 ComLinK y ComLinK con Animod, esto se obtuvo en 2 modos: loopback y con dos computadoras. Esta comunicación se midió de acuerdo al tiempo de delay que se da, que en este caso no es persivible al ojo humano. La comunicación entre la ESP-32 y ComLinK se midió mandando datos a través de un punto de acceso y la de ComLinK a Animod se midió mandando datos y mostrando animaciones en Animod. Las ventajas de esta comunicación es que fue modular, por lo que fue fácil de integrar, de igual forma el que el delay no sea perceptible ante el ojo humano hace que el proyecto sea más vistoso. Una desventaja es que todavía se tiene que hacer mejoras de procesamiento para que le cueste menos trabajo al procesador procesarlo.

Se lograron implementar animaciones en 3D que cambian de color y posición de acuerdo a los datos obtenidos del sensor. Este resultado se dio gracias a que Animod es capaz de recibir los datos de los sensores y cambiar la posición y el color de acuerdo a el valor de rotación que se obtenga. Esto se midió y se comprobó con las pruebas realizadas con el sistema completo. Las ventajas de esta animación son que se pueden escalar conforme se quieran ir integrando sensores y se puede modificar los colores y las formas. Una desventaja de la animación es que se tiene que usar un mapeo de input y output para que funcione.

Se logró generar el prototipo propuesto del proyecto. Este prototipo constó de 5 módulos con 1 sensor, 1 ESP-32 mini, 2 pilas cada uno, una PCB, y un switch de on y off. Conforme a la integración del sistema logramos hacer una demostración artística que representa al fuego y hielo. La ventaja de este prototipo es que se logró una forma inalámbrica de presentar el proyecto.

La figura 34 muestra la presentación final del proyecto ante espectadores en el Tecnologico de Monterrey durante el evento llamado “Expo-Ingenierías” del Departamento de Mecatrónica en el Campus Ciudad de México, como parte de la prueba final del mismo.

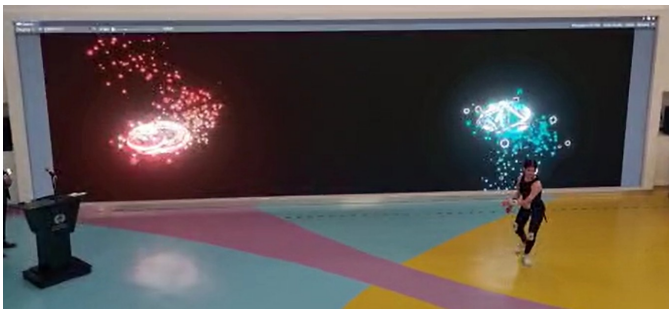

Figura 33 Presentación de la propuesta ante espectadores.

VI. Conclusiones

Poniendo a los objetivos como punto de partida para tener un marco de referencia, se define los resultados técnicos como satisfactorios ya que se logró implementar la idea del producto mínimo viable, como mencionado en el análisis, el principal desafío fue establecer una comunicación de un extremo a otro, es decir obtener los datos proporcionados por el sensor MPU-6050 en Animod.

Es importante mencionar que gracias al modularidad del sistema se tienen distintas configuraciones es decir en loopback o normal, ya sea en una pc o dos pc lo cual brinda la flexibilidad suficiente para desarrollar el software y no solo eso, ya que al momento de presentar IMDA se puede monitorear los datos usando ComLink en una locación distinta a donde este corriendo Animod, eso sí dentro del rango de conexión WiFi el cual se

tiene como tarea caracterizar para la comunicación implementada.

El sistema ofrece una flexibilidad alta para la generación de animaciones ya que para agregar más efectos o variantes no es necesario generar una gran cantidad de código debido a que se usan distintos tipos de metodologías de desarrollo de videojuegos para agilizar la creación de nuevos elementos dentro de una escena interactiva.

Aunque la medición de la latencia del sistema no pudo ser obtenida de forma directa, si se toma un enfoque empírico se puede apreciar dentro del sistema que no hay una latencia importante aun usando interpolación linear para las animaciones, cabe mencionar que es importante cuantificar este retraso y ver si la escalabilidad del sistema (más módulos ESP-32) pueden afectar al rendimiento del sistema.

Finalmente, es importante resaltar que proyectos en tecnología pueden, desde una perspectiva disruptiva generar oportunidades para el bienestar de los usuarios, permitiéndoles controlar el alcance de su danza, sus movimientos y generar espacios creativos, de arte y música. Esta propuesta emplea una combinación única de informática, ingeniería electrónica y estética lúdica y emotiva para invitar al usuario a reflexionar sobre la relación entre lo físico, lo digital y lo personal, así como sobre la compleja y maravillosa relación entre el cuerpo humano y la innovación tecnológica en la era de la información. Como trabajo futuro, se pretende probar el sistema con mayor cantidad de usuarios y generar un análisis de uso del sistema.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean agradecer al Tecnológico de Monterrey por el apoyo financiero brindado a través del 'Programa de Financiamiento de Investigación Basado en Desafíos 2023', ID de Proyecto #IJXT070-23EG99001, titulado 'Educación de Pensamiento Complejo para Todos (CTE4A): Un Centro Digital y Escuela para Aprendices Permanentes'.

VII. REFERENCES

[1] BREAKFAST. (2022, FEBRUARY 9). AWAKEN - BRIXELS KINETIC ART INSTALLATION BY BREAKFAST. AWAKEN 1. RETRIEVED MARCH 22, 2022, FROM HTTPS://BREAKFASTNY.COM/WORKS/AWAKEN-1

[2] ESPINOSA, J. M. M., OUTLÁ, M. V., PONCE, B. A., & SANABRIA, J. (2022). A THRESHOLD FOR CITIZEN SCIENCE PROJECTS: COMPLEX THINKING AS A DRIVER OF HOLISTIC DEVELOPMENT. RIED. REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN A DISTANCIA, 25(2), 113-127.

[3] MCGREAL, R., MONTOYA, M. S. R., & AGBU, J. F. O. (2022). HORIZONTES DIGITALES COMPLEJOS EN EL FUTURO DE LA EDUCACIÓN 4.0: LUCES DESDE LAS RECOMENDACIONES DE UNESCO. RIED. REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN A DISTANCIA, 25(2), 09-19.

[4] MICHAILIDIS, T., DOOLEY, J., GRANIERI, N., & DI DONATO, B. (2018, AGOSTO 27). IMPROVISING THROUGH THE SENSES: A PERFORMANCE APPROACH WITH THE INDIRECT USE OF TECHNOLOGY. DIGITAL CREATIVITY, 29, 149-164. 2022, MARZO 15, DE SCOPUS BASE DE DATOS.

[5] INFINITY DES LUMIÈRES. PORTAIL CULTURESPACES. (2021, JULY 21). RETRIEVED MARCH 22, 2022, FROM HTTPS://WWW.CULTURESPACES.COM/FR/SITES/INFINITY-LUMIERES

[6] POINT MOTION: MAKE MUSIC WITH YOUR BODY MOVEMENT. (2022). RECUPERADO EL 18 DE MARZO DE 2022, DE HTTPS://WWW.INDIEGOGO.COM/PROJECTS/POINT-MOTION-MAKE-MUSIC-WITH-YOUR-BODY-MOVEMENT#/

[7] PHILLIPS, K., KEARNEY-VOLPE, C., PEREIRA, L., & MANN, Y. (2018, OCTOBER). BODY SYNTH BY USE ALL FIVE & GOOGLE CREATIVE LAB - EXPERIMENTS WITH GOOGLE. GOOGLE. RETRIEVED MARCH 22, 2022, FROM HTTPS://EXPERIMENTS.WITHGOOGLE.COM/BODY-SYNTH

[8] SANABRIA-Z, J., ALFARO-PONCE, B., GONZÁLEZ PEÑA, O. I., TERASHIMA-MARÍN, H., & ORTIZ-BAYLISS, J. C. (2022). ENGAGEMENT AND SOCIAL IMPACT IN TECH-BASED CITIZEN SCIENCE INITIATIVES FOR ACHIEVING THE SDGS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW WITH A PERSPECTIVE ON COMPLEX THINKING. SUSTAINABILITY, 14(17), 10978.

[9] SMITHSONIAN MAGAZINE. RECUPERADO DE: HTTPS://WWW.SMITHSONIANMAG.COM/SMART-NEWS/NEW-VAN-GOGH-EXHIBITION-LETS-VIEWERS-SIT-UNDER-STARRY-NIGHT-180976190/. MARZO DE 2023.

[10] SUÁREZ-BRITO, P., LÓPEZ-CAUDANA, E. O., BAENA-ROJAS, J. J., & RAMÍREZ-MONTOYA, M. S. (2022). ELICITING COMPLEX THINKING THROUGH OPEN EDUCATIONAL RESOURCE PROJECTS. JOURNAL OF SOCIAL STUDIES EDUCATION RESEARCH, 13(4), 56-77.

[11] TANAKA, A., & KNAPP, B. (2002). MULTIMODAL INTERACTION IN MUSIC USING THE ELECTROMYOGRAM AND

RELATIVE POSITION SENSING. MARZO 14, 2022, DE VIRGINIA TECH SITIO WEB: HTTPS://VTECHWORKS.LIB.VT.EDU/HANDLE/10919/80530

[12] TAKAHASHI, S., SUZUKI, K., SAWADA, H., & HASHIMOTO, S. (1999). MUSIC CREATION FROM MOVING IMAGE AND ENVIRONMENTAL SOUND. RECUPERADO EL 18 DE MARZO 2022, DE HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/228570213_MUSIC_CREATION_FROM_MOVING_IMAGE_AND_ENVIRONMENTAL_SOUND.