

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Carrera de Ingeniería de Sistemas



# **EXPERIMENTO DE MEDICIÓN DE TIEMPOS DE REACCIÓN DEL CEREBRO HUMANO FRENTE A ESTÍMULOS 2D Y 3D PARA ESTUDIOS DE ATENCIÓN**

Trabajo de investigación para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

**Portilla Fernández, José Antonio**

20121026

**Torres Tejada, Sergio Manuel**

20122266

**Asesor**

**Mugruza Vassallo, Carlos Andrés**

Lima – Perú  
Marzo del 2018





**EXPERIMENTO DE MEDICIÓN DE  
TIEMPOS DE REACCIÓN DEL CEREBRO  
HUMANO FRENTE A ESTÍMULOS 2D Y 3D  
PARA ESTUDIOS DE ATENCIÓN**



“A mi mamá Anilú por brindarme amor y cariño, inculcarme valores y apoyarme a lo largo de mi vida. Además, por ser una madre que no se rinde ante las adversidades. Gracias mamá.

A mi hermano Miguel Ángel por darme la oportunidad de poder ser un modelo a seguir para él, así como el mejorar día a día. También, por darle felicidad y diversión a mis días. Gracias hermano.

A mi abuelo Cayetano por ser como un padre para mí, brindándome consejos y contándome anécdotas pasadas para poder aprender de ellas. Gracias abuelo.

A mi abuela Luz por ser una madre más en mi vida, apoyándome y enseñándome varios temas en mi primaria y secundaria. Gracias abuela.

A mi tío Martín y Julio por ser figuras paternas para mí, representando los lados de amabilidad y rectitud respectivamente. Gracias tíos.

Al colegio Cristo Salvador por ser mi primera alma mater, y enseñarme desde conocimientos académicos hasta valores y comportamientos sociales que me ayudan hasta el día de hoy.

A la Universidad de Lima por ser mi segunda alma mater, y enseñarme conocimientos académicos de mayor nivel para poder aplicarlos en el ámbito laboral.

A los profesores que he conocido a lo largo de mi vida, tanto del colegio como de la universidad, por tener la gran tarea de formar personas tanto académica como socialmente.

A nuestro asesor, Carlos Mugruza, por guiarnos a lo largo de este trabajo, así como el compartir sus experiencias para que seamos mejores personas.

A mis amigos y amigas que he conocido a lo largo de mi vida, pasando del colegio a la universidad y llegando a la época laboral, por compartir distintos tipos de momentos que han quedado grabados en mi memoria.

Gracias a todos los que ayudaron a formar mi persona, en pequeña o gran medida.”

Sergio Torres

“A mi madre Mariella, siempre atenta y preocupada, por brindarme un cariño inmenso en todo momento y apoyo directo e indirecto (sin que yo me dé cuenta y con pequeños detalles muchas veces) a lo largo de toda mi vida hasta este punto. Gracias mamá.

A mi padre José, por brindarme consejos por experiencias propias, anécdotas de ejemplo y charlar conmigo para entender inconvenientes y resolver problemas en distintos ámbitos, desde personales hasta académicos. Gracias papá.

A mis dos padres, como equipo, que me han brindado los medios para estar aquí, muchas veces privándose de mucho, gracias por cumplir su labor de padres no sólo por deber, sino también por amor.

A mi abuela Marina, por brindarme un ejemplo de vida, basado en la perseverancia, honestidad y solidaridad; por reforzar en mí la importancia de la unión, amor familiar y ayuda desinteresada al prójimo.

A mi abuelo José por inspirarme con su trayectoria académica impecable y sus grandes logros profesionales; elementos que me han llenado de orgullo y motivación para culminar este trabajo

Al Colegio De la Inmaculada y su personal 2000-2011, que muy a parte de darme las herramientas para triunfar académicamente, construyó en mí: conciencia social, valores, juicio crítico, empatía y una promesa personal hacia este país.

A la Universidad de Lima y su personal (2012 - actualidad) por mi formación profesional y reforzar mi honestidad en el contexto actual alarmante (2017-2018) que vive mi país, Perú.

A la profesora Volodina, quien me transmitió el amor a la carrera y cimentó mis convicciones y razón de ser como profesional.

A nuestro asesor, Carlos Mugruza, por su paciencia y apoyo a lo largo de todo el proceso, así como también por compartir su valiosa experiencia y conocimientos.

A mis mejores amigos y amigas, que me apoyaron en momentos difíciles y considero como hermanos y hermanas.

A mi hermano, que me impulsa siempre a ser una mejor persona y a ver las cosas desde puntos de vista distintos antes de tomar una decisión.

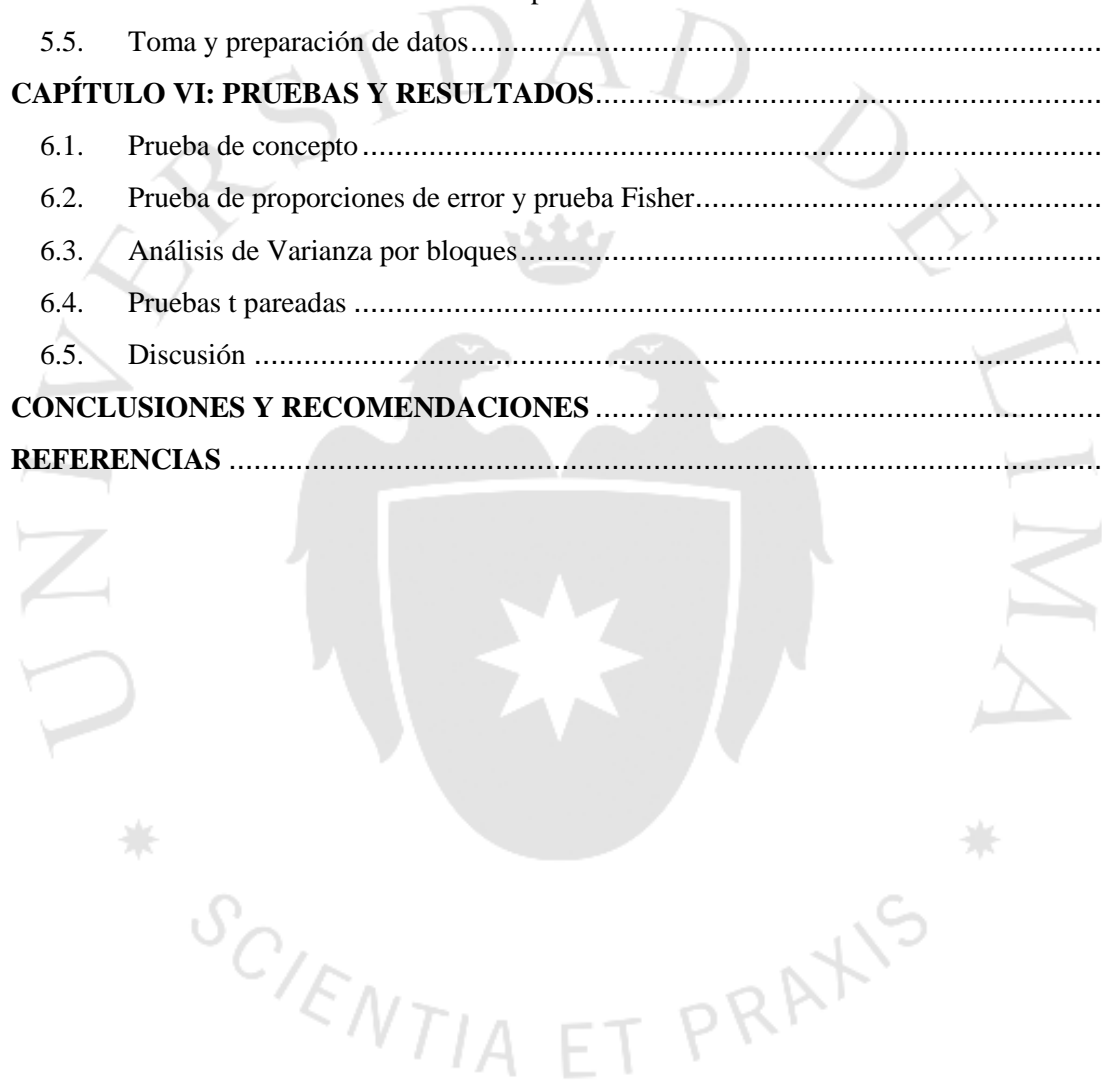
Gracias a todos los que contribuyeron a ser quien soy hoy en día, de una manera u otra.”

José Portilla

# TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| <b>RESUMEN</b> .....                                 | 1  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                | 2  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                            | 4  |
| <b>DESCRIPTORES TEMÁTICOS</b> .....                  | 5  |
| <b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....  | 6  |
| 1.1.    Formulación del problema .....               | 6  |
| 1.1.1.    Antecedentes.....                          | 6  |
| 1.1.2.    Identificación del problema.....           | 6  |
| 1.2.    Hipótesis de la Investigación.....           | 7  |
| 1.3.    Objetivo de la investigación .....           | 8  |
| 1.3.1.    Objetivo general .....                     | 8  |
| 1.3.2.    Objetivos específicos .....                | 9  |
| 1.3.3.    Justificación.....                         | 9  |
| <b>CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE</b> .....            | 11 |
| 2.1    Conocimientos básicos .....                   | 11 |
| 2.2.    Herramientas para diseño de experimento..... | 12 |
| <b>CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO</b> .....             | 21 |
| 3.1.    Tiempo de Reacción .....                     | 21 |
| 3.2.    Atención.....                                | 21 |
| 3.3.    Dimensiones 2D y 3D .....                    | 22 |
| 3.4.    Motor de videojuegos.....                    | 23 |
| 3.5.    Métodos y herramientas de Unity .....        | 24 |
| 3.6.    Herramientas estadísticas:.....              | 27 |
| <b>CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE SOLUCIÓN</b> .....      | 28 |
| 4.1.    Métodos de investigación .....               | 28 |
| 4.1.1.    Flujo de trabajo .....                     | 28 |
| 4.1.2.    Participantes .....                        | 29 |
| 4.1.3.    Diseño del Experimento .....               | 30 |
| 4.1.4.    Selección de motor gráfico .....           | 32 |
| 4.1.5.    Materiales.....                            | 33 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.1.6.    Análisis de Datos.....  | 36        |
| 4.2.    Alcance .....   | 37        |
| <b>CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA .....</b>              | <b>39</b> |
| 5.1.    Flujo básico de recolección de datos para ambos videojuegos ..... | 39        |
| 5.2.    Juego en 2D .....   | 41        |
| 5.3.    Juego en 3D .....   | 42        |
| 5.4.    Validación de la medición de tiempos .....                        | 44        |
| 5.5.    Toma y preparación de datos.....                                  | 48        |
| <b>CAPÍTULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>                             | <b>49</b> |
| 6.1.    Prueba de concepto .....  | 49        |
| 6.2.    Prueba de proporciones de error y prueba Fisher.....              | 49        |
| 6.3.    Análisis de Varianza por bloques.....                             | 50        |
| 6.4.    Pruebas t pareadas .....  | 51        |
| 6.5.    Discusión .....   | 53        |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                               | <b>55</b> |
| <b>REFERENCIAS .....</b>  | <b>58</b> |





## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Resultados de tasas de error, TR correctos y erróneos, y errores posteriores y correcciones posteriores para las pruebas estándar. .... | 13 |
| Tabla 2. Tiempos de reacción (ms) en las fases de imagen mental y respuesta. ....  | 20 |
| Tabla 3. Características de la tarjeta de adquisición de datos. ....   | 35 |
| Tabla 4. Comparación de TR entre ambientes 2D y 3D de los videojuegos en milisegundos (ms). ....   | 47 |
| Tabla 5. Resultado de la prueba de concepto. ....  | 49 |
| Tabla 6. Resultados de la prueba de proporción de error y prueba Fisher. ....  | 50 |
| Tabla 7. ANOVA de TR por persona y estímulo del juego 2D. ....   | 51 |
| Tabla 8. ANOVA de TR por persona y estímulo del juego 3D. ....   | 51 |
| Tabla 9. Prueba T para el estímulo del murciélago.....   | 52 |
| Tabla 10. Prueba T para el estímulo del conejo. ....   | 52 |
| Tabla 11. Prueba T para el estímulo del fantasma. ....   | 52 |
| Tabla 12. Prueba T para el estímulo del slime.....   | 53 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Tiempo promedio para iniciar una intercepción del oponente proyectado en 2D y 3D..... | 8  |
| Figura 2. Esquema de los procedimientos experimentales de las cuatro tareas.....                | 19 |
| Figura 3. Comparación de un personaje de videojuegos en formato 2D y 3D. ....                   | 23 |
| Figura 4. Flujograma del plan de trabajo. ....  | 29 |
| Figura 5. Estímulos estándar tipo Go. ....  | 31 |
| Figura 6. Estímulo distractor del tipo NoGo. ....   | 31 |
| Figura 7. Laboratorio de pruebas IDIC_UL.....   | 36 |
| Figura 8. Flujo básico de recolección de datos por juego. ....                                  | 40 |
| Figura 9. Flujograma de medición de TR.....   | 41 |
| Figura 10. Desarrollo del juego 2D. ....  | 42 |
| Figura 11. Desarrollo del juego 3D. ....  | 43 |
| Figura 12. Chip FT232R.....   | 44 |
| Figura 13. Osciloscopio.....  | 45 |
| Figura 14. Placa PCI. ....  | 45 |
| Figura 15. Tabla de circuitos. ....   | 46 |
| Figura 16. Representación visual de programa en entorno SimuLink en Matlab. ....                | 46 |

## RESUMEN

¿Que mantiene más atento a un ser humano? ¿Estímulos en 2D o en 3D?  
¿Cómo se realizan estudios de atención en el ser humano, contando el tiempo de reacción como principal indicador?

La presente investigación desarrolló un experimento conformado por 2 videojuegos, en 3D y 2D respectivamente, basado en pruebas previas con resultados que impliquen actividad cerebral relacionada con la atención. El objetivo fue determinar qué tipo de estímulo es el mejor para captar la atención de las personas, basándose en el tiempo de reacción, así como también proponer un modelo de experimento que sirva como base para futuras pruebas en el campo de la atención, con electroencefalogramas, por ejemplo.

La premisa de ambos videojuegos fue la misma: se mostraron cinco estímulos al participante, siendo cuatro de ellos de tipo estándar (Go) y el último un distractor (No Go). Frente a los estímulos de tipo Go se debía presionar una flecha direccional del teclado. Se recolectó la información de treinta participantes, siendo veintinueve de ellos válidos.

Se tomaron distintas pruebas estadísticas. La prueba de proporcionalidad y la prueba de Fisher dieron un valor p mayor a 0.05 (0.373 y 0.3183, respectivamente) para comprobar si el número de errores entre experimentos tenían diferencia estadísticamente significativa. Un análisis de varianza por bloques fue tomado, siendo los factores la persona y el estímulo para determinar la influencia en los resultados para cada dimensión del juego (2D y 3D). Los valores p para cada factor fueron menores a 0.05 ( $<2.2e-16$  y  $6.814e-06$ , respectivamente) lo que hizo imposible hacer un promedio de tiempos totales por dimensión. Debido a esto, se tuvo que tomar una prueba T por promedio de cada estímulo de tipo "Go", todas teniendo valores menores a 0.05.

De los resultados obtenidos, la diferencia significativa cuando se

compara el tiempo de reacción de estímulos 2D y 3D se debió al mayor tiempo de reacción en 3D en todos los casos.

## ABSTRACT

What keeps a human being more attentive? Stimuli in 2D or 3D? How are attention studies carried out in the human being, counting the reaction time as the main indicator?

The present research developed an experiment conformed by 2 videogames, in 3D and 2D respectively, based on previous tests, with results that imply brain activity other related to attention. The objective was to determine which type of stimulus is best to capture the attention of people, based on the reaction time, as well as propose an experimental model that will serve as a basis for future tests in the field of care, with electroencephalograms, for example.

The premise of both video games was the same: five stimuli were shown to the participant, four of them being standard (Go) and the last a distractor (No Go). In front of Go-type stimuli, a directional arrow on the keyboard must be pressed. Information was collected from thirty participants, twenty-nine being valid.

Different statistical tests were taken. The proportionality test and Fisher's test gave a p-value greater than 0.05 (0.373 and 0.3183, respectively) to check if the number of errors between experiments had a statistically significant difference. An analysis of variance by blocks was taken, the factors being the person and the stimulus to determine the influenced in results for each dimension of the game (2D and 3D). P values for each factor were less than 0.05 ( $<2.2e-16$  and  $6.814e-06$ , respectively), which made impossible to average the total times per dimension. Because of this, a T test per average of each stimulus of type "Go" had to be taken, all having values less than 0.05.

From the results obtained, the significant difference when comparing the reaction time of 2D and 3D stimuli was due to the greater reaction time in 3D in all cases.



# INTRODUCCIÓN

La “atención” del ser humano como proceso cognitivo ha despertado interés considerable desde hace tiempo y hasta la actualidad, pues implica la concentración de los sentidos en un estímulo (o grupo de estímulos) en específico. Los procesos cognitivos relacionados a atención son puntos clave de disciplinas importantes como el marketing contemporáneo, específicamente el campo de neuromarketing según el artículo de Nick Lee, Amanda J. Broderick & Laura Chamberlain (2007). También es aplicable en el campo del deporte por la cantidad de artículos e investigaciones al respecto, como el de Subramanyam (2016).

Si bien existen experimentos al respecto, la mayoría involucran funciones motrices (movimiento del cuerpo), que implica interferencia al momento de medir actividad cerebral relacionada a la atención durante electroencefalografías (Yilmaz, 2014). Además, muchos son monótonos y pierden el interés del participante, impactando en las mediciones (Scherer, 2013).

El presente trabajo plantea un experimento de tiempos de reacción conformado por 2 videojuegos, uno en 2D y el otro en 3D. Este experimento se propuso luego de observar tres inconvenientes al momento de revisar artículos relacionados: la monotonía de los experimentos, la interferencia de señales eléctricas cerebrales generadas por movimientos musculares y la falta de artículos de comparación de estímulos visuales en 2D y 3D. El objetivo del experimento es determinar cuál de los tipos de estímulo muestra un tiempo de reacción menor y brindar un modelo de experimento para futuras investigaciones sobre atención enfocados a experimentos de tiempos de reacción.

## **DESCRIPTORES TEMÁTICOS**

Tiempo de reacción, 3D, 2D, experimentos, atención, videojuegos



# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Formulación del problema**

### **1.1.1. Antecedentes**

Respecto a las investigaciones y experimentos relacionados a la atención del ser humano que se han venido llevando ya por años, generalmente una de las métricas más utilizadas en dichos trabajos ha sido el tiempo de reacción (TR, en adelante).

La métrica de TR es considerado importante en experimentos de atención puesto que es una buena medida de cuán saludable se encuentra la función cognitiva del ser humano, afirmación propuesta por Jakobsen (2011) de acuerdo a los resultados de sus experimentos de tiempos de reacción en personas desnutridas versus bien alimentadas. También, porque es una métrica que varía drásticamente, de manera directamente proporcional a la atención, si es que el nivel de concentración en un estímulo (o grupo de estímulos) no es estable. Esto está demostrado en estudios sobre desorden de atención e hiperactividad tal y como afirma Tamm (2012) en su trabajo recopilatorio expresado de forma documental, entre muchos otros.

### **1.1.2. Identificación del problema**

Tomando como base el TR para determinar un buen nivel de atención, han surgido algunos inconvenientes a lo largo del vasto historial de experimentos al respecto:

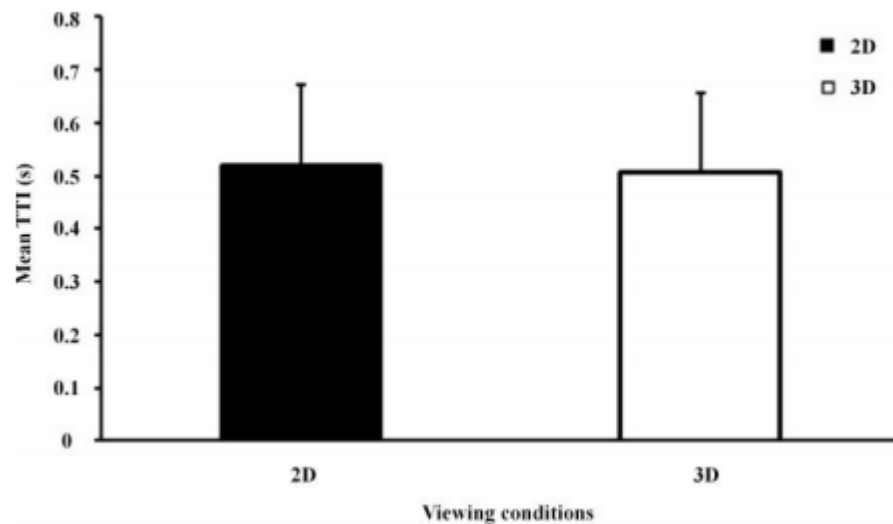


- A. Disminución de efectividad por la monotonía del experimento (muy repetitivo). Los experimentos no están centrados en el usuario y su comodidad, sino en la obtención de información. Tales pruebas generan aburrimiento y hasta frustración en el participante, lo cual resulta en patrones de activación del cerebro muy inconsistentes (Scherer, 2013).
- B. Interferencia de señales eléctricas cerebrales generadas por movimientos musculares en experimentos que utilizan Electroencefalogramas (EEG) para medir actividad relacionada a procesos cognitivos. Esto se demuestra con las mediciones que realizó Yilmaz (2014), en la cual sus participantes a pesar de estar en reposo y completamente relajados seguían enviando señales musculares que son tomadas como “ruido”.
- C. No parece haber investigaciones que tomen en cuenta los dos problemas mencionados anteriormente al momento de realizar experimentos que comparan estímulos visuales en 2D y 3D para determinar cuál captura mejor la atención humana. Se toma en cuenta que los artículos sobre experimentos de comparación de ambos estímulos mencionados, aun sin contar con las consideraciones mencionadas, no son muy abundantes tampoco o fáciles de encontrar. En todo caso, las pruebas que más se encuentran son en 2D exclusivamente.

## **1.2. Hipótesis de la Investigación**

Después de la lectura de varios artículos de investigación, se encontró uno que estudió el tiempo de reacción de deportistas ante videos en 2D y 3D que simulan a un oponente acercándose a los participantes que tenían que bloquear (Lee et al, 2013). El experimento concluyó que el TR era igual con respecto a los dos tipos de

video con resultados de  $p = 0.652$  y  $t(9) = 0.465$ . Si bien no especifica la media de tiempos que obtuvo, se adjunta en el artículo una ilustración al respecto (ver *Figura 1*).



**Figura 1. Tiempo promedio para iniciar una intercepción del oponente proyectado en 2D y 3D. En “Visual Search Differs But Not Reaction Time When Intercepting a 3D Versus 2D Videoed Opponent”, por Lee et al, 2013.**

Basados en Lee (2013) se tomará el resultado del experimento como hipótesis nula y punto de partida: “Los estímulos visuales en 3D y 2D provocan el mismo tiempo de reacción”.

### **1.3. Objetivo de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Programar dos videojuegos, uno en 2D y otro en 3D, para realizar con ellos un experimento de medición de tiempos de reacción que permita determinar con cuál de las dos perspectivas se obtienen menores tiempos de reacción y que,

además, pueda servir como estudio base para futuras investigaciones sobre “atención” (particularmente en experimentos con tiempos de reacción).

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- A. Diseñar los videojuegos de tal manera que involucre la mínima actividad física posible para evitar posibles interferencias en electroencefalogramas (EEG) de señales cerebrales no asociadas a la atención (principalmente señales motrices) en caso nuestro modelo de experimento se use en el futuro para pruebas que involucren EEG.
- B. Diseñar los videojuegos para que sean lo suficientemente similares y así poder comparar resultados, contando que la única variante entre ellos es la perspectiva (2D o 3D).
- C. Programar los videojuegos y tomar con ellos los datos suficientes de tiempos de reacción.
- D. Determinar si existe suficiente evidencia estadística para afirmar que existe una diferencia entre las medias de los impulsos (2D vs 3D).

### **1.3.3. Justificación**

La relevancia de la presente investigación radica en distintos puntos:

- A. El primero, y quizás el más importante, es el aporte a la neurociencia, puesto que esta investigación permitirá:
  - 1) Brindar un informe publicable sobre un tema poco explorado. Esto es relevante puesto que existen pocas investigaciones al respecto (solo se encontró una específicamente del tema).
  - 2) Contribuir con un modelo de experimento más preciso, complementario a la investigación de Lee et al (2013), donde

se usó videos que duraban 6 segundos y en el mismo punto de tiempo en todos los vídeos siempre se producía el movimiento sobre el cual el participante reaccionaba. Esto podía causar una identificación de patrón en el participante y perder la propiedad “repentina” del estímulo.

El modelo de experimentación propuesto evitaría o minimizaría el ruido causado por las señales causadas por movimientos musculares. Este es en definitiva un elemento de alto interés, tanto así que existen investigaciones exclusivamente dedicadas a eliminar este “artefacto” de las mediciones de los EEG (Chen, 2014)

- 3) Exponer resultados sobre cuál tipo de estímulo es más efectivo para captar la atención de las personas o, en todo caso, comprobar que no existe diferencia entre ellos. Considerando eso, es un aporte valioso a otros investigadores que quieran tener fundamento en cual tipo de estímulo elegir para realizar pruebas más rigurosas con EEG y monitoreo de señales cerebrales.
- B. El segundo es la demostración de la posibilidad de aplicación de tecnologías informáticas de manera interdisciplinaria: Se programaron dos videojuegos en un motor de videojuegos gratuito que tienen como salida datos ordenados y listos para ser analizados.
  - C. Aportar resultados que podrían ser aplicables en un ámbito más comercial. Si, por ejemplo, 3D capta mejor la atención, sería una motivación para implementar publicidad en 3D. En las escuelas se podrían dar presentaciones en 3 dimensiones y en los deportes las explicaciones de tácticas, por ejemplo, proyectadas en 3D o entrenamientos virtuales.

# CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

En esta sección se brinda información acerca de estudios relacionados al tema de investigación, que fueron útiles para entender conceptos, exponerlos en el presente trabajo y para estructurar la metodología a seguir para realizar el experimento.

## 2.1 Conocimientos básicos

En los artículos que brindaron la base de conocimientos acerca de atención, TR y cómo medirlo, tenemos al artículo titulado “Reaction time variability in ADHD: A review. Neurotherapeutics” de Tamm y otros (2012) el cual se centra en indicar cuáles son los datos estadísticos comúnmente usados para estudiar el TR (media y desviación estándar), además de afirmar que el desorden de atención está relacionado a los tiempos de reacción por la variabilidad que se presenta en esta medida al momento de hacer pruebas en sujetos con esta condición. El artículo reporta varios métodos para estudiar el TR; sin embargo, no muestra resultados numéricos específicos por ser solo una recopilación de metodologías.

El artículo de Jakobsen, Sorensen y otros (2011) ayudó a reafirmar la importancia del TR como medida relacionada a la atención y a procesos cognitivos en general. Confirma el TR como medida de funciones cognitivas saludables, por su declive en pacientes con desnutrición en pruebas simples de reacción continua que involucraron estímulos “falsos” y verdaderos (TAP: Go/No Go). Los resultados con media de tiempo de reacción (MRT) fueron de 481 ms para sanos y 620 ms para desnutridos.

Peretti, Ferreri y otros (2008) en su artículo muestran un claro declive de desempeño en las personas con enfermedades degenerativas (Alzheimer o Huntington) para lo cual realizó pruebas en adultos jóvenes para compararlos con adultos mayores; personas con enfermedades degenerativas (Huntington) contra personas con síntomas y un grupo de control; finalmente, un grupo que padecía de Alzheimer contra su grupo de control. El grupo de control es un conjunto de personas sin la condición clínica dada. El primer grupo, en cuanto a tiempos de reacción, obtuvo como MRT 707 ms y una desviación estándar de 123 ms para los jóvenes, y MRT de 2111 ms y desviación estándar de 1219 ms para los ancianos (para pruebas de atención endógena). Para los demás grupos no se midió, solo se dieron los cálculos de los estadísticos para “difference scores” en los TR. Se concluyó después de realizar ANOVA y pruebas t ( $p < 0.001$ ) que las diferencias sí eran significativas.

## **2.2. Herramientas para diseño de experimento**

Subramanyam y Manilal (2014) abordan la relación entre los tiempos de reacción y la atención en atletas de la India. Este estudio apoyo en la construcción del experimento a través de una introducción a los experimentos sobre tiempos de reacción, en este caso ellos usaron estímulos visuales de luz y de sonido. Además, se definió y expuso los distintos tipos de TR que existen: simple, de reconocimiento y de decisión. El experimento se tomó a atletas de distintos deportes (basketball TR=348 ms, natación TR=794 ms, etc.). Cada deporte tenía un TR bastante diferente entre sí. Su estudio concluye, sorprendentemente, que la correlación entre el TR y el control de atención no era tan alto como se esperaba. A pesar de sus resultados, se observa que el control de atención se midió con un experimento (Knox Cube) diferente al que se usó para medir el TR (estímulos visuales y de sonido), por lo que existen dudas si el tiempo de reacción frente al experimento de control hubiera sido diferente.

La investigación de Xiao et al (2015) tuvo como objetivo revisar la relación entre el nivel de atención del ser humano y sus errores de reacción, teniendo como una de sus posibles causantes la fatiga mental. Se encontró que las personas que habían sido sometidas a pruebas intensivas antes de hacer el “experimento real” tenían un TR mayor a las que no y una fatiga mental mayor. De la *Tabla 1*, para personas sin fatiga el TR era de 532.8 ms en aciertos y 511.7 ms en errores. Para personas fatigadas el TR era de 567.0 ms y 472.6 ms en errores. Este artículo plantea un ejemplo de experimento en 2D: estímulos repentinos de 4 tipos en una pantalla sobre los cuales se tenía que reaccionar. Utilizó para el análisis la media para poder hacer la comparación y, además, se evaluó cuán lenta fue la siguiente reacción luego de la equivocación.

**Tabla 1. Resultados de tasas de error, TR correctos y erróneos, y errores posteriores y correcciones posteriores para las pruebas estándar.**

|                         | Normal          | Fatigue         |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Error rate              | 3 (5)           | 5 (5)           |
| RT of correct (ms)      | 532.8 (117.2)   | 567 (235.7)     |
| RT of error (ms)        | 511.7 (142.7)   | 427.6 (146.4)   |
| Post-error (ms)         | 810.5** (344.7) | 680** (238.6)   |
| Post-correct (ms)       | 407.3** (287.8) | 331.7** (103.9) |
| Post-error slowing (ms) | 403.3 (263.6)   | 340.2 (175.3)   |

Nota. \*p < 0.05, \*\*p < 0.01. La desviación estándar está mostrada entre paréntesis. Recuperado de “Sustained Attention is Associated with Error Processing Impairment: Evidence from Mental Fatigue Study in Four-Choice Reaction Time Task”, de Xiao et al, 2015.

Usualmente las pruebas de TR, o en general de procesos cognitivos, se vuelven monótonas rápidamente, ya que en ella se trata de obtener la mayor cantidad de datos posibles. La falta de motivación finalmente termina impactando en los datos obtenidos. La solución propuesta por Scherer, Moitzi y otros (2013) era realizar el experimento de una manera mucho más interesante, presentando a los participantes un videojuego. Su propuesta hacía uso del Kinect de Microsoft para captar movimientos corporales e interactuar con el software mientras que un

EEG era el encargado de recolectar los datos de actividad cerebral que ellos necesitaban para hacer su posterior análisis de datos. Esta investigación permitió conceptualizar la idea del videojuego a realizar, no se optó por la propuesta de Kinect debido a que el objetivo era no incluir la actividad física.

Xia, R. T., & Zhou, X. Y. (2013) tenían el interés en las investigaciones que involucran la relación entre la atención visual y la seguridad del tráfico, generalmente debido a las propiedades de la atención visual en la conducción. Los conductores reciben una cantidad masiva de información, priorizando cosas como señales de tránsito ubicadas en sitios lejanos de la visión u otros vehículos ubicados en sitios cercanos al conductor. En ese sentido, ellos tenían que estar cambiando continuamente su atención visual entre todos esos “estímulos”. El artículo revela las características de la atención visual de los conductores con baja visión. Se utilizó estímulos de corto y largo alcance, simulados en un sistema de medición de atención tridimensional (3D) para emular un ambiente de tráfico. En este, se midió el tiempo de reacción de los sujetos mientras ellos mantenían su atención para desplazarse en ambientes con tres (3) tipos de iluminación: uno con luz diurna, uno con la luz de un crepúsculo y otro con la luz de un amanecer. Algunas conclusiones que se pueden tomar del artículo son:

- 1) La iluminación del entorno tuvo una evidente influencia en el tiempo de reacción de los conductores, siendo el tiempo de reacción lento en condiciones de amanecer y crepúsculo si se compara con la condición diurna.
- 2) La asignación de la atención por parte de los conductores tuvo mayor incidencia en espacios cercanos que lejanos.

Lee et al. (2013) en su investigación “Visual Search Differs But Not Reaction Time When Intercepting a 3D Versus 2D Videoed Opponent” señalan que la visión humana en 3D y la percepción de profundidad son a menudo factores críticos para el éxito en varios deportes. Proponen evaluar las respuestas visual-



perceptivo-motoras de los participantes en un entorno 3D podría traer mayores beneficios que evaluar solamente en un entorno 2D.

En la investigación se examinó si las respuestas visual-perceptivo-motoras de los participantes variaron entre los escenarios de juego basados en 2D y 3D. Se utilizó un sistema estereoscópico integrado personalizado para proyectar los estímulos de video así como registrar la mirada y comportamientos motrices de forma sincrónica. El número y la duración de las fijaciones de la mirada se codificaron según la ubicación en el cuerpo del oponente (cabeza, hombros, brazos, tronco, pelvis, piernas, etc.) o de otra manera. Lo más importante a mencionar fue que para medir el tiempo de reacción de los participantes, se utilizó el inicio del movimiento pélvico medio lateral que realizaban como referencia. Su hipótesis propuesta fue que los participantes podrían reaccionar más rápido frente a un oponente 3D que a uno 2D debido a las señales de profundidad adicionales y que se fijarían en diferentes partes del cuerpo de los oponentes. De los resultados obtenidos en las evaluaciones, los participantes pasaron un 16% menos de tiempo fijándose en el tronco y un 23% más de tiempo fuera del cuerpo del oponente 3D en comparación con el estímulo 2D. Sin embargo, no se encontraron diferencias en el tiempo de reacción. Se utilizaron dos “one-way Repeated Measures ANOVA” separadas para la diferencia de número de fijaciones y el tiempo de las fijaciones para 2D y 3D respectivamente y “two-way Repeated Measures ANOVA” para la diferencia entre el número total de fijaciones y el porcentaje de tiempo de las fijaciones entre condiciones. Las pruebas t pareada se usaron para ver interacciones relacionadas de los previos experimentos y para probar la diferencia entre los tiempos de reacción para 2D y 3D. Los resultados de estas últimas para los tiempos de reacción fueron:  $p = 0.652$  y  $t(9) = 0.465$ .

Aunque los participantes se fijaron menos en el cuerpo del oponente en el videojuego en 3D y, por inferencia, invirtieron menos procesamiento perceptual para interpretar los movimientos del oponente en comparación con la condición 2D, realizaron la tarea de interceptación igualmente rápido en ambas condiciones.

Las señales tridimensionales de la profundidad pueden proporcionar una información más significativa por fijación para el desempeño exitoso de la tarea.

Como conclusión de la investigación: el sistema estereoscópico integrado aborda las dificultades asociadas con la integración de las técnicas de medición tradicionales e independientes de las habilidades visuales, perceptivas y motoras, con la ventaja adicional de introducir presentaciones de estímulo casi realistas; los estímulos en 2D y 3D no se diferencian en tiempos de reacción, sin embargo, el 3D requirió menos tiempo de fijación para reaccionar.

Algo que se observó en el experimento del artículo es que este utilizaba como estímulos videos de 6 segundos en los cuales se utilizaba todo el cuerpo para reaccionar y el tiempo en el cual se iniciaba el estímulo era siempre el mismo. Esto generaba un patrón identificable y se perdía el elemento repentino del estímulo. Finalmente, los autores no tomaron en cuenta que el estímulo mismo puede ser un factor de variación, tal y como menciona el estadístico e investigador Eyzaguirre (2017)

Abbasi-Kesbi, Memarzadeh-Tehran, & Jamal Deen (2017) en su artículo propone la implementación de un sistema portátil adecuado para la estimación del TR de un humano. Este sistema se destaca por ser compacto, de bajo costo, fácil de usar y no intrusivo. El sistema utiliza dos tipos de pruebas diferentes: test simple de TR y test de reconocimiento de TR. En la prueba simple de TR solo se observa un estímulo y una reacción, y en la prueba de reconocimiento se mide el tiempo de reacción frente a ciertos estímulos y los demás son ignorados.

Por otro lado, los autores proponen una técnica para estimar el TR la cual se basa en el marcado temporal (en inglés "Time-stamping") del estímulo y la reacción para calcular la diferencia de tiempo. Para realizar esta técnica, se

tomaron 2 sensores de movimiento idénticos. Uno es usado en la muñeca, destinado a marcar el tiempo de la acción del estímulo. El otro es ajustado para registrar el tiempo de reacción y se coloca en la cabeza del individuo, para así lograr una sensibilidad maximizada y un alto rango dinámico en las mediciones. Del lado del sistema, este utiliza dos sensores de movimiento inalámbricos, además de un nodo central que está conectado directamente a una PC para recolectar los datos medidos.

En los resultados obtenidos, los autores mencionan que los valores de TR son 40-68 y 60-87% (TR=265ms vs TR=420ms) más rápidos en el comienzo que el fin para los test simple y de reconocimiento, respectivamente. Además, se revela que el nivel de fatiga es un factor degradante que puede aumentar significativamente el valor de TR.

Finalmente, el artículo escrito por Kashihara & Nakahara (2011) habla sobre la actividad de rotación mental la cual es considerada como un método para medir el desempeño de las actividades. Generalmente, se pueden encontrar investigaciones del tema utilizando imágenes en formato 2D. Sin embargo, cuando una imagen mental en 3D rota, el tiempo de reacción del observador incrementa a medida que los ángulos en el objeto 3D aumentan. En ese sentido, el objetivo de la investigación fue evaluar el desempeño de las actividades durante la imaginación mental de formas en 3D y 2D. Las métricas que se utilizaron para medir son tiempo de reacción y precisión. Se planteó la hipótesis de que la imagen mental 3D construida a partir de figuras 2D resultaría en tiempos de reacción más largos y peor precisión. Para especular sobre uno de los mecanismos fisiológicos durante dichos procesos mentales, también se realizó un estudio de viabilidad utilizando un EEG.

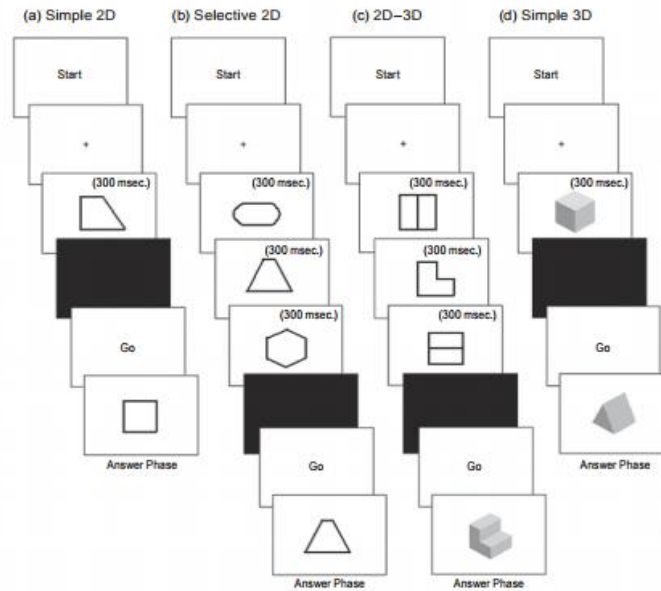
Para el desarrollo del experimento, se implementó cuatro actividades (ver *Figura 2*):

1) Actividad simple 2D, donde aparece una imagen 2D por 300 ms y luego los participantes deben imaginar mentalmente la imagen 2D de manera correcta. Luego, otra imagen 2D aparece y los participantes juzgan si es la misma o no.

2) Actividad de selección en 2D, donde aparecen 3 imágenes 2D (cada una durante 300 ms) y luego los participantes deben imaginar mentalmente las figuras de manera correcta. Luego, aparece una imagen nueva y los participantes deben determinar si la nueva imagen era parte de las anteriores.

3) Actividad 2D-3D, donde aparecen 3 figuras (cada una durante 300 ms) en orden de: parte superior, parte central y vista lateral. Los participantes deben imaginar las figuras 2D e imaginar la figura 3D de manera correcta. Después, una imagen 3D aparecerá y los participantes determinan si es la correcta o no.

4) Actividad simple 3D, donde aparece una imagen 3D por 300 ms. Luego, los participantes deben imaginar mentalmente la figura de forma correcta. Finalmente, una figura 3D aparecerá y los participantes determinan si es la misma o no.



**Figura 2. Esquema de los procedimientos experimentales de las cuatro tareas. En “Evaluation of task performance during mentally imaging three-dimensional shapes from plane figures”, por Kashihara y Nakahara, 2011.**

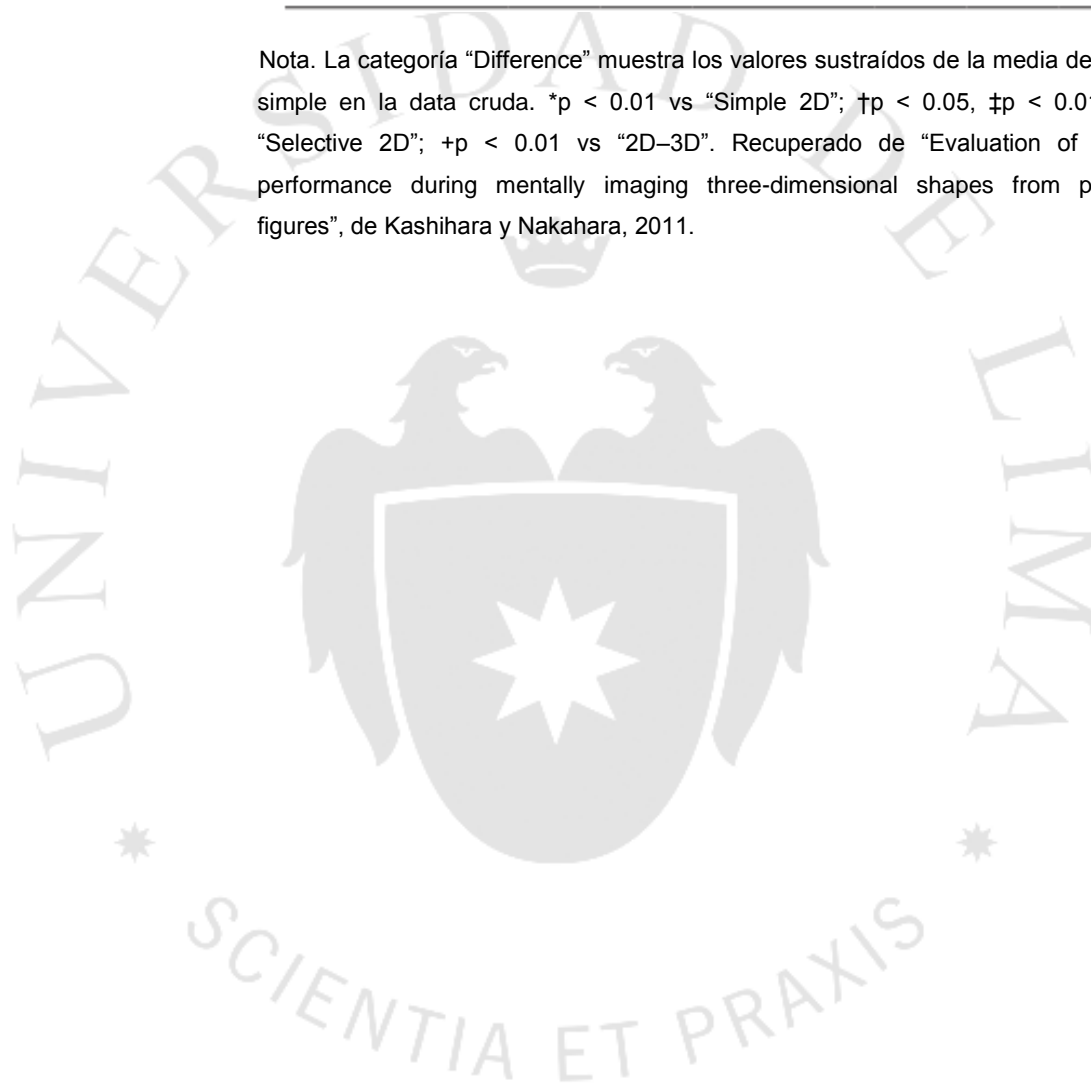
Tomando como referencia la *Tabla 2*, los autores concluyeron lo siguiente:

- 1) La actividad de imaginar una figura 3D en base a figuras 2D tuvo el mayor tiempo de reacción (1079.6 ms vs 662.8 ms). La precisión de rendimiento en esta tarea fue menor comparada a las otras.
- 2) El tiempo de reacción para la actividad 2D-3D difirió estadísticamente de manera significativa (1348.9 ms).
- 3) Si comparamos con la actividad 2D-3D, la ilustración de un simple objeto 3D sería eficaz cuando se requiera rápida respuesta de alta precisión.

**Tabla 2. Tiempos de reacción (ms) en las fases de imagen mental y respuesta.**

|                           | Task      |       |              |       |           |       |           |       |
|---------------------------|-----------|-------|--------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                           | Simple 2D |       | Selective 2D |       | 2D-3D     |       | Simple 3D |       |
|                           | M         | SD    | M            | SD    | M         | SD    | M         | SD    |
| <b>Mental image phase</b> |           |       |              |       |           |       |           |       |
| Raw data                  | 662.8     | 244.4 | 1,079.6      | 410.4 | 1,348.9   | 504.1 | 697.8     | 279.2 |
| Difference                | 419.3     | 233.5 | 836.1*       | 398.7 | 1,105.4*† | 493.8 | 454.3†*   | 269.0 |
| <b>Answer phase</b>       |           |       |              |       |           |       |           |       |
| Raw data                  | 464.7     | 96.4  | 685.7        | 154.7 | 702.3     | 103.3 | 537.9     | 250.3 |
| Difference                | 221.2     | 89.5  | 442.1*       | 145.2 | 458.8*    | 97.4  | 294.3†*   | 246.7 |

Nota. La categoría "Difference" muestra los valores sustraídos de la media del TR simple en la data cruda. \*p < 0.01 vs "Simple 2D"; †p < 0.05, ‡p < 0.01 vs "Selective 2D"; +p < 0.01 vs "2D-3D". Recuperado de "Evaluation of task performance during mentally imaging three-dimensional shapes from plane figures", de Kashihara y Nakahara, 2011.



# CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se brindan definiciones acerca de las teorías, metodologías y conocimientos que se utilizaron en este trabajo de investigación.

## 3.1. Tiempo de Reacción

Según la OpenCourseWare (OCW Universidad de Cantabria, 2014), es “el tiempo que transcurre entre la presentación del estímulo y la ejecución de la respuesta por parte de la persona se denomina tiempo de reacción (TR)”.

Si bien existen aún más definiciones, se toma al TR (llamado también tiempo de respuesta o latencia de respuesta) como “la medición del tiempo de ocurrencia entre el inicio de un estímulo hasta la ejecución de una acción ante ese estímulo”.

## 3.2. Atención

Según el libro “*Attention: A Neuropsychological Approach*” que está escrito por (Ward, 2004), se define a la atención como “el proceso por el cual las personas son capaces de enfocarse en un aspecto particular de su ambiente”. Además, algo que menciona el autor es que las teorías cognitivas de la atención pueden resultar complejas y abstractas.

Por otro lado, el libro “*Clinical Neuropsychology of Attention*” escrito por (Zomerén & Brouwer, 1994) menciona que “la atención es primordialmente usada

para denotar percepción directa y selectiva, además de referirse a alguien que está ‘prestando atención’ a una fuente particular de estímulo”. Algo importante a destacar del libro es que el autor menciona que la atención puede estar relacionada a una variedad de cosas, algunas coloquiales u otras cosas relacionadas a investigaciones científicas.

Una de las investigaciones encontradas usa el término de “atención selectiva”, que describe como la capacidad de seleccionar uno de entre muchos estímulos, concentrarse en él y dejar de lado posibles distractores. Esta investigación sugiere, además, que el jugar videojuegos mejora la atención de este tipo no solo en el mismo videojuego, sino también de manera generalizada, es decir, al realizar otras tareas de atención selectiva (C. Shawn Green & Daphne Bavelier, 2003).

Después de revisar la información, se toma el concepto de atención como “un proceso cognitivo que involucra el enfoque de los sentidos en un cierto estímulo (o grupo de estímulos) en una persona”.

### **3.3. Dimensiones 2D y 3D**

Según la web (FotoCristal 3D, 2005), “la diferencia entre una imagen en 3D y en 2D está básicamente en la profundidad. Una imagen en 2D es plana vista de lado, mientras que una imagen en 3D tiene la curvatura propia de la figura que representa” (como ejemplo, ver *Figura 3*).



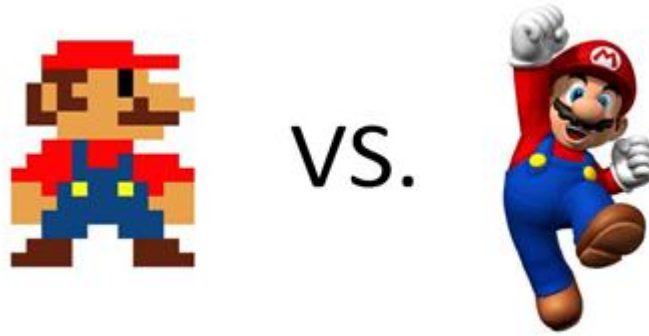


Figura 3. Comparación de un personaje de videojuegos en formato 2D y 3D.  
En “Desarrollo de videojuegos en el Perú: 2D vs. 3D”, por Ronald Cotaquispe, 2013,  
<http://avatar.inf.pucp.edu.pe/desarrollo-de-videojuegos-en-el-peru-2d-vs-3d/>.

3D está relacionado a las 3 dimensiones: longitud, anchura y profundidad. Comúnmente, cualquier cosa en 3D es parte de la realidad que percibimos, ya que todas tienen 3 dimensiones. 2D, en cambio, está relacionado a solo 2 dimensiones: longitud y anchura. La forma en cómo son percibidas las imágenes por las personas es plana. La principal diferencia entre el 3D y 2D, entonces, es la dimensión de profundidad.

### 3.4. Motor de videojuegos

Un motor gráfico o de videojuegos, según la página oficial de Unity (2015), es “una plataforma para crear videojuegos y apps con un motor gráfico y un editor con herramientas y recursos incluidos”. En general, cualquier programa de este tipo debe brindar ciertas funciones: un motor para crear gráficos 2D y 3D, un motor que reconozca la colisión entre objetos y una respuesta frente a ellos, la inclusión de archivos musicales, el diseño de animaciones, etc.

Finalmente, los desarrolladores profesionales explican en diversos foros que la capacidad gráfica junto a la facilidad de desarrollo y la plataforma a desarrollar son unos de los factores claves al momento de elegir un motor gráfico.

### 3.5. Métodos y herramientas de Unity

Unity maneja el comportamiento de los elementos a través de scripts, que son elementos que contienen código expresado en un lenguaje de programación. Los lenguajes de programación que se pueden utilizar para desarrollar los scripts son C Sharp (C#) o JavaScript. En esta investigación, se utilizó el lenguaje C # por su gran parecido al lenguaje Java.

En esta sección, se va a describir los métodos principales que se utilizaron para el funcionamiento de los videojuegos, muchos de ellos propios de Unity:

- **Start():** Viene por defecto al crear un script. Es un método que se inicializa tan pronto se habilite el script, y es aquí donde se definen las variables, conexiones y otras cosas que necesite el script para funcionar. Corre una sola vez.
- **Update():** Viene por defecto al crear un script. Es un método que corre y actualiza el juego al finalizar cada frame del juego. Es importante que en este método solo se definan métodos que no involucren condiciones, ya que a veces eso genera conflictos en el funcionamiento del juego.
- **FixedUpdate():** El método Update() depende de cada frame, entonces no tiene un tiempo fijo estándar entre cada corrida del método. FixedUpdate() sí tiene un tiempo fijado estándar independiente de los frames para correr. Generalmente esta sección es para poner todo código relacionado a la física dentro del juego (muy útil en 3D).
- **IEnumerator:** Es una clase que permite crear métodos de tipo co-rutina. La co-rutina es una función que puede suspender su ejecución hasta que pase un determinado tiempo. La instrucción encargada de definir ese tiempo es “yield return New WaitForSeconds()”, donde el valor se escribe dentro del paréntesis y fue fundamental para controlar la aparición o desaparición de sprites (2D) y modelos (3D) dentro de los videojuegos en

los tiempos y condiciones que se especificaron.

- **StartCoroutine():** Es un método que inicializa una co-rutina. Dentro del paréntesis se declara el nombre de la co-rutina y se le puede asignar a una variable de tipo IEnumerator para poder luego pararla a voluntad con StopCoroutine().

Los elementos comunes en ambos videojuegos son:

- **Objeto de juego (“GameObject”, GO de ahora en adelante)**

Son los objetos fundamentales que Unity utiliza, estos representan distintas cosas: personajes, accesorios y escenarios. Inicialmente, aparecen sin ninguna funcionalidad. Son capaces de tener componentes adjuntos a ellos, los cuales determinan nuevas funcionalidades. Por defecto, siempre vienen con el componente “Transform” que permite representar posición y orientación.

- **Cámara principal**

Son objetos de juego que tienen los siguientes componentes: “Camera”, “GUI Layer”, “Flare Layer” y “Audio Listener”. Son el medio por el cual el mundo es mostrado al jugador. Puede existir más de una cámara, lo cual significa más apreciación del mundo para el jugador. En general, las cámaras pueden ser puestas en cualquier orden, en cualquier lugar de la pantalla, o solo en ciertos puntos.

- **Script**

Son archivos que manejan funcionalidades adicionales de los objetos, mediante el uso de un lenguaje de programación. Estos componentes no son propios de Unity, ya que prácticamente todos los programas utilizan este componente para ejecutar sus funciones. Los lenguajes disponibles para definir las funcionalidades son C Sharp y JavaScript.

- **Canvas**

Son objetos de juego que tienen los siguientes componentes: “Rect Transform”, “Canvas”, un script llamado “Canvas Scaler” y otro script llamado “Graphic Raycaster”. Es un área la cual debería contener todos los elementos de UI (“User Interface”, o interfaz de usuario).

- **Texto**

Son objetos de juego que tienen los componentes “Rect Transform”, “Canvas Renderer” y un script llamado “Text”. Estos muestran un pedazo de texto no interactivo, pudiendo ser utilizados para brindar indicaciones a realizar.

- **Sistema de eventos (“EventSystem”)**

Son objetos de juego que poseen 2 scripts: “Event System” y “Standalone Input Module”. Estos son utilizados para mandar eventos a objetos en la aplicación basado en un elemento de entrada, pudiendo ser el teclado, mouse, o un elemento personalizado. También sirve para desactivar GOs.

- **Animators**

Es un elemento de Unity que contiene un flujo de animaciones. El flujo circula de acuerdo a controles de los cuales el preferido es el Trigger.

- \* **Triggers**

Son compuertas lógicas que se usan para controlar animaciones, cuando se llama a una instancia de trigger, se coloca en “True” hasta ser consumida. Digamos que el personaje corre, se ejecuta el trigger “caer” y la animación fluye hacia la siguiente conectada, “correr”. Esto únicamente si la condición fue declarada y la conexión está hecha en el elemento Animator.

### 3.6. Herramientas estadísticas:

Para el desarrollo de modelos estadísticos, se utilizó la herramienta R. Esta se puede definir como “un lenguaje y un entorno para la estadística informática y gráfica” (The R Foundation, 2017). Es un software de libre distribución y con la particularidad de ser gratis al usuario. Es capaz de correr en distintos sistemas operativos (varias plataformas Unix, Windows y MacOS).

Las funcionalidades que nos brinda R, según la Web del grupo The R Foundation (2017), son las siguientes:

- Un manejo efectivo de la información, así como facilidades de almacenamiento
- Una serie de operadores para cálculos en arreglos, particularmente matices.
- Una colección grande, coherente e integrada de herramientas intermedias para el análisis de datos
- Facilidades gráficas para el análisis de información y la posibilidad de visualización en pantalla o formato físico (“Hard copy”)
- Un lenguaje de programación bien desarrollado, simple y efectivo que incluye condicionales, bucles, funciones recursivas definidas por el usuario y facilidades para el ingreso y salida de información.

Adicionalmente se usaron las pruebas estadísticas ANOVA y pruebas t-test, ya que son muy utilizadas en virtualmente todos los trabajos de investigación al respecto que se encontraron, siendo un ejemplo el artículo de Karle, Watter y Shedden (2010). Sin embargo, nuestro ANOVA será por bloques por las razones explicadas a detalle en el capítulo IV.

# CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Con el objetivo de determinar qué tipo de estímulos generan menores tiempos de reacción (2D o 3D), se decidió como propuesta de solución el diseñar, programar y probar 2 bloques de captura de datos en forma de videojuegos para brindar un formato entretenido y así evitar pérdida de desempeño y calidad de datos. Además, desarrollarlos tal que demande solo el movimiento mínimo corporal (presionar flechas direccionales del teclado con el dedo).

La única diferencia entre videojuegos es la perspectiva para que la comparación de los datos obtenidos por medición sea válida y no exista virtualmente otro factor de influencia sobre los tiempos de reacción que no sea el cambio de dimensiones.

## 4.1. Métodos de investigación

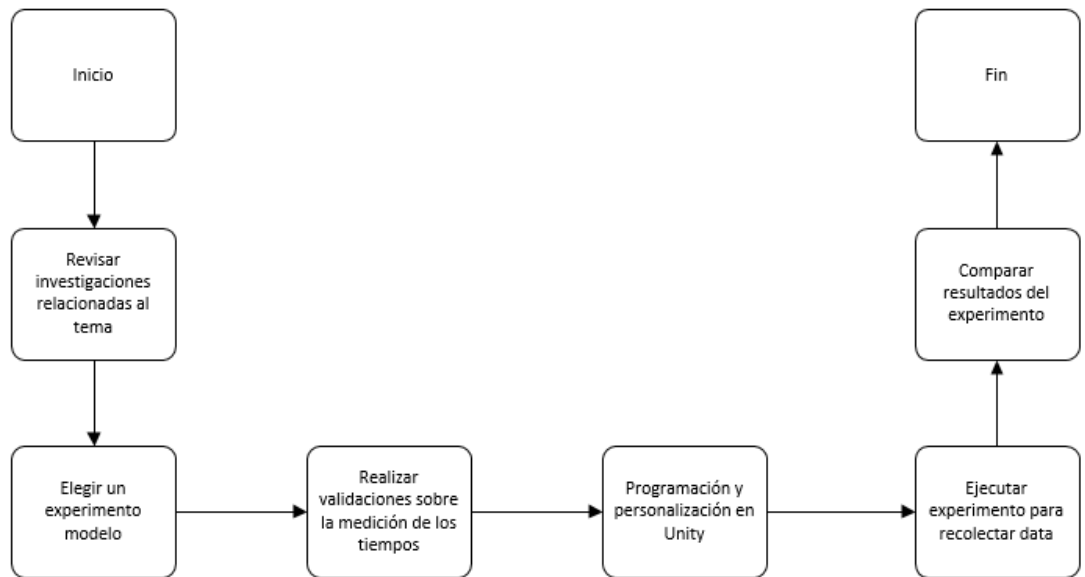
### 4.1.1. Flujo de trabajo

Para este trabajo de investigación, se tiene el siguiente flujograma (ver *Figura 4*):

- Primero, se realizaron investigaciones sobre experimentos relacionados a los temas de tiempo de reacción en 3D y 2D.
- Luego, se escoge un experimento como modelo, que implique menos interferencias (movimientos motrices) para un electroencefalograma y que haya obtenido buenos resultados.
- A continuación, se debe realizar validaciones con respecto a la

medición de los tiempos a través de envíos de pulsos a un puerto USB.

- Después, se toma el experimento modelo y se utiliza como guía para la personalización y programación de los videojuegos con Unity.
- Lo siguiente fue ejecutar el experimento (videojuegos 2D y 3D) para obtener datos para estudiar.
- Finalmente, se procede a analizar los resultados del experimento, y para cada caso determinar cuáles impulsos (2D o 3D) muestran mejores tiempos de reacción y sacar conclusiones.



**Figura 4. Flujograma del plan de trabajo.**  
Elaboración propia.

#### 4.1.2. Participantes

Se tomaron los tiempos a 30 participantes. Una de las tomas se invalidó puesto que el participante olvidó sus anteojos. Los participantes restantes del experimento (11 mujeres y 18 hombres) jugaron los videojuegos 2D y 3D voluntariamente y cumplieron con las siguientes características:

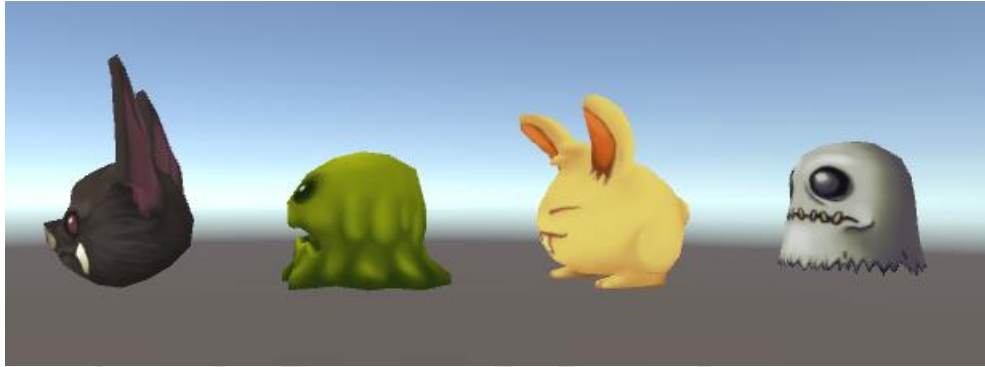
- No sufrir de una discapacidad física o mental para que puedan realizar el experimento de manera correcta.
- El rango de edad fue entre 17 y 34 años.
- Realizaron la prueba antes del almuerzo

#### 4.1.3. Diseño del Experimento

Se programaron dos videojuegos, uno en 2D y otro en 3D, que toman tiempos de reacción y contemplan el instante en el que aparece un estímulo en el juego y el momento en el que el participante presiona una tecla como reacción. Para minimizar el efecto “orden” las pruebas se tomaron intercaladas: un participante jugaba en 2D primero y luego 3D; el siguiente participante a la inversa.

A cada participante se le presentaron como mínimo 250 estímulos, esto significa que un participante visualizó un mínimo de 200 estímulos estándar (ver *Figura 5*) y 50 estímulos distractores (ver *Figura 6*). Los estímulos son 5 y aparecen de forma completamente aleatoria, frente a ellos se debía reaccionar presionando las flechas direccionales del teclado. Arriba para un murciélago, abajo para un fantasma, izquierda para el conejo y derecha para slime. Cada uno de estos estímulos se mantiene en pantalla por 3 segundos antes de desaparecer y registrar el evento como error. El tiempo entre estímulos varía de 300 a 1500 milisegundos. Se agregó un estímulo distractor que aparece por 1 segundo, frente al cual no se debe presionar ninguna tecla, en caso de hacerlo el evento tomara se toma como erróneo y registra también este tiempo de reacción. 50 de los estímulos obligatoriamente fueron “falsos” y el juego paraba solamente cuando se mostraban estos 50, cuya aparición era completamente aleatoria.





**Figura 5. Estímulos estándar tipo Go.**  
Elaboración propia.



**Figura 6. Estímulo distractor del tipo NoGo.**  
Elaboración propia.

Los datos registrados en el experimento son: Fecha y hora, nombre del participante, estímulo (murciélago, fantasma, etc.), versión (2D o 3D), acierto (verdadero o falso), tiempo de reacción y a parte se registró una encuesta con datos más específicos (estado de ánimo, por ejemplo) para análisis posteriores no contados en el alcance del presente trabajo.

#### 4.1.4. Selección de motor gráfico

De todos los motores gráficos existentes en el mercado, se eligió el motor Unity para el desarrollo de los videojuegos. A continuación, se menciona los motivos por los cuales se eligió la herramienta comparada con otros motores de videojuegos:

- **Source 2 Engine**

Desarrollado por Valve, se publicó de forma gratuita a los desarrolladores que no lo utilicen para lucrar. Sin embargo, no es sugerido utilizarlo si es que uno es un principiante. Por consiguiente, se podría decir que la facilidad de desarrollo no es uno de sus puntos fuertes.

- **Unity 5**

Desarrollado por la compañía Game Developers Conference, este motor que engloba varias plataformas, lo cual lo hace uno de los más versátiles en cuanto a selección de plataforma. Una característica a mencionar es que es de fácil uso, brindando tutoriales detallados de cómo desarrollar entornos simples y amigables. Sus scripts están en C# o JavaScript, lo cual conviene por ser C# parecido a Java, lenguaje que los presentes investigadores conocen muy bien. Además, es de uso libre el cual incrementa sus ventajas frente a otros motores.

- **Unreal Engine 4**

Motor de videojuegos desarrollado por la empresa Epic Games. Un punto fuerte de este motor es su nivel de capacidad de gráficos, incluyendo algunas características como iluminación dinámica y un sistema de partículas para el desarrollo de una escena. Este motor utiliza Unreal Development Kit (UDK), y existe la desventaja de tener que aprender instrucciones particulares.

- **CryENGINE**

Desarrollado por Crytek, este motor gráfico es uno de los más potentes lo cual le permite sobrepasar a motores como Unity e incluso teniendo como pocos competidores a Unreal Engine 4. Sin embargo, no es gratuito. Se paga \$9.90 al mes.

En base a las características de los motores mencionados anteriormente, se optó por utilizar el motor gráfico Unity debido a sus ventajas de fácil aprendizaje, distintas plataformas compatibles y su libre uso para los programadores.

#### **4.1.5. Materiales**

Para realizar el experimento, se utilizaron distintos instrumentos. En esta sección, se mencionan los materiales que se utilizaron y, en algunos casos, se describen las características de las mismas:

- Una máquina (desktop o laptop) que cumpla las especificaciones mínimas propuestas por Unity (2017):
  - Para el desarrollo de videojuegos:
    - Sistema operativo Windows 7 SP1 en adelante o Mac OS X 10.8 en adelante
    - Tarjeta gráfica con DX9 (modelo de shader 3.0) o DX11 con capacidades de funciones de nivel 9.3.
  - Para la ejecución de los videojuegos:
    - Sistema operativo Windows XP SP2 en adelante, Mac OS X 10.8 en adelante, Ubuntu 12.04 en adelante y SteamOS en adelante.
    - Tarjeta gráfica DX9 (modelo de shader 3.0) o DX11 con capacidades de funciones de nivel 9.3.
    - CPU compatible con el conjunto de instrucciones

## SSE2

- Para la prueba de validación del registro de los tiempos (donde está conectada la placa receptora de señales) se requiere de una maquina con las siguientes características:
  - Placa madre marca Gigabyte Technology Co. Ltd., modelo B96-HD3, con un chipset Intel Haswell rev. 06 y Southbridge Intel B85 rev. C2
  - Memoria RAM de tipo DDR3, con un tamaño de 4GB y con canales tipo Single
  - CPU de modelo Intel Core i3 4160, cuarta generación, con una frecuencia de 3.60 GHz, una memoria caché de 3 MBytes L3, de 22nm de tamaño y Socket 1150 LGA
  - Tarjeta gráfica integrada de marca Intel, modelo HD Graphics 4400.
- Para el despliegue del videojuego y donde los participantes puedan jugar, se requiere lo siguiente:
  - Monitor modelo HP L1710, con resolución de 1280 x 1024 pixeles y un “refresh rate” de 60 Hz.
  - Placa madre marca Lenovo, modelo 545B71, con un Chipset Intel DMI Host Bridge rev. 11 y Southbridge Intel Q57 rev. 06
  - Memoria RAM tipo DDR3, con un tamaño de 4GB y con canales tipo Dual
  - CPU modelo Intel Core i5 750, primera generación, con una frecuencia de 2.66 GHz, una memoria caché de 8 MBytes L3, de 45 nm de tamaño y Socket 1156
  - Tarjeta gráfica integrada marca Nvidia, modelo Geforce 310
  - Teclado de marca Lenovo y modelo SK-8825
- Una tarjeta de adquisición de datos (DAQ en inglés) de modelo PCI-DAS6402/16 que está conectada a la maquina donde se desarrollan los videojuegos, con las siguientes características (ver *Tabla 3*):

**Tabla 3. Características de la tarjeta de adquisición de datos.**

| Analog Input    |  |             |
|-----------------|--|-------------|
| Channels        | 64 SE / 32 DIFF  |             |
| Resolution      | 16-bit   |             |
| Max sample rate | 200 kS/s   |             |
| Sampling        | Multiplexed  |             |
| Ranges          | ±10 V, ±5 V, ±2.5 V, ±1.25 V, 0-10 V, 0-5 V, 0-2.5 V, 0-1.25 V |             |
| Isolation       | -  |             |
| Analog Output   |  |             |
| Channels        | Resolution   | Speed       |
| 2               | 16-bit   | 100 kS/s    |
| Digital I/O     |  |             |
| Channels        | Counter/Timers   | Encoder     |
| 32              | 1/-  | -           |
| Software        |  |             |
| OS Support      | Drivers  | Power       |
| Windows         | Universal Library™ SW Suite                                    | Bus powered |

Nota. Recuperado de PCI-DAS6402/16, de Measurement Computing, 2017. Recuperado de <https://www.mccdaq.com/pci-data-acquisition/PCI-DAS6402-16.aspx>.

- Un ambiente cerrado y único para incentivar la concentración plena de los participantes durante el experimento para mejorar los tiempos de reacción y asegurar la igualdad de condiciones. El ambiente utilizado en este trabajo fue facilitado por el IDIC (Instituto de Investigación Científica) de la Universidad de Lima (ver *Figura 7*)



**Figura 7. Laboratorio de pruebas IDIC\_UL.**

**Se aprecia la pantalla, el computador, el teclado, mouse y parte de la silla. Elaboración propia.**

- Transformador de señales de USB a TTL
- Tabla de circuitos SCB-50/BRD
- Una licencia de MATLAB brindada por la Universidad

#### **4.1.6. Análisis de Datos**

Para verificar si existe evidencia estadística suficiente de una diferencia entre los tiempos de reacción frente a los estímulos 2D vs los de 3D e indicar cuál es la mayor, se utilizaron las siguientes pruebas estadísticas:

- **Prueba de proporcionalidad y prueba exacta de Fisher**

Como primera prueba se analizó el ratio de equivocaciones entre 2D y 3D y se comprobó si existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las proporciones son distintas y así se pudo verificar si en 2D se equivocaban más que en 3D o viceversa.

- **ANOVA con bloques**

Antes de tomar todos los resultados TR de 2D y compararlos con 3D, se verificó si el estímulo no es un factor que impacte en los tiempos de reacción (ejemplo: el murciélago podría provocar mayores tiempos que el conejo). Esto se evaluó con un diseño ANOVA de bloques completos, cuya restricción (agrupación) de bloque sería la persona, puesto que todas han reaccionado frente a los 4 impulsos y se asumió que no está relacionada con el cambio que ocurre entre estímulos.

- **Prueba t pareada**

Luego de haber comprobado que no existe evidencia estadística para contradecir que las medias TR entre todos los estímulos para 2D sean iguales (y lo mismo para 3D) se pasan a evaluar todos los datos 2D vs todos los datos 3D.

La prueba más adecuada fue la prueba t para datos pareados (evaluar variables dependientes sin perder de vista la correlación entre ellas). Así se controla la influencia que tendrían los mismos participantes sobre la variación entre TR y por fin determinar si existe evidencia de diferencia entre las medias de TR.

## **4.2. Alcance**

El alcance para el presente trabajo es el siguiente:

- Diseñar, programar y validar 2 videojuegos, uno que utilice tecnología 3D

y el otro 2D, para comparar tiempos de reacción de las personas.

- Buscar que el experimento solamente tome en cuenta un elemento relacionado con la atención: Tiempo de Reacción.
- La población objetivo para probar el experimento son personas jóvenes (de 17 a 40 años) que no tengan problemas de salud física y mental (esquizofrenia o Párkinson, por ejemplo).
- Plantear que los videojuegos a futuro puedan ser aplicados en experimentos que utilicen paralelamente un electroencefalograma.





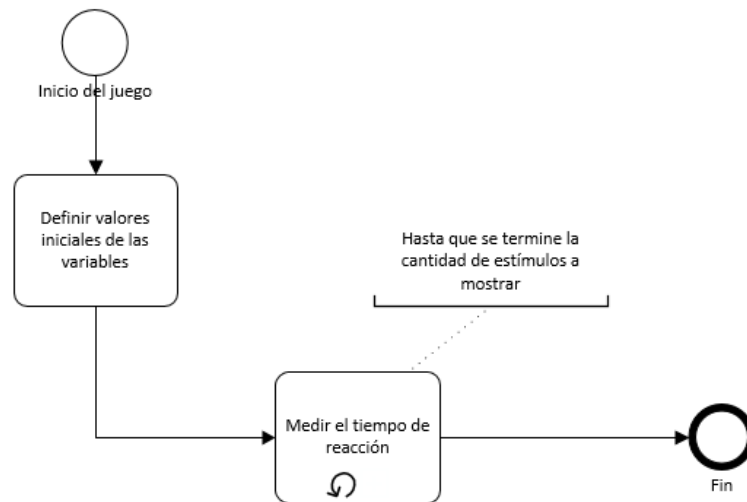
# CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Para la solución propuesta, se decidió implementar dos videojuegos en 2D y 3D que permitan medir el tiempo de reacción de los participantes frente a cada uno. El objetivo es identificar qué estímulos son más efectivos a la hora de medir el tiempo de reacción.

## 5.1. Flujo básico de recolección de datos para ambos videojuegos

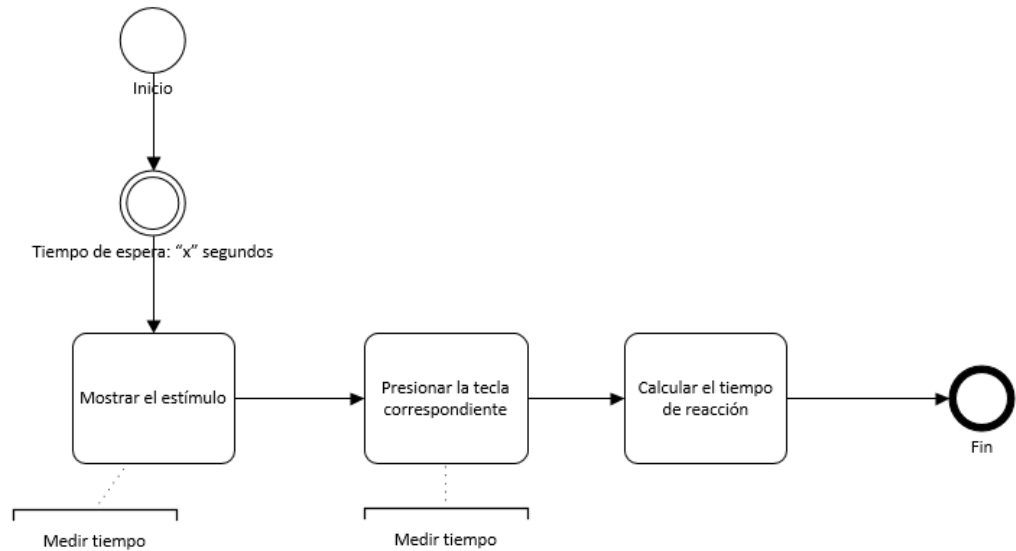
Para la toma de datos e inicio de medición de tiempos, el flujo comienza al momento de correr el programa (ver *Figura 8*). Al inicio del juego, Unity mantiene un temporizador propio por defecto que mide el tiempo en segundos con más de 4 decimales, este se utiliza para determinar cuál fue el tiempo de reacción. Inmediatamente, al inicio, se definen las variables que se van a utilizar en el juego (fecha del día, el estímulo a mostrar, el TR).

El videojuego ejecuta el método `Start()` (todos los métodos principales están explicados a detalle en el capítulo III) y le asigna un valor inicial a todas las variables a utilizar. Esto incluye la creación del archivo que tiene como nombre los datos de fecha y hora del momento de inicio del videojuego. Inmediatamente se invoca el método `Update()` y luego se realiza la medición del tiempo de reacción. Esta medición se ejecuta hasta que se termine la cantidad de estímulos a mostrar (determinada en el capítulo IV). Se termina el juego cuando se cumpla la cantidad de estímulos a mostrar.



**Figura 8. Flujo básico de recolección de datos por juego.**  
**Elaboración propia.**

Los videojuegos utilizan un cálculo aleatorio para mostrar los estímulos, verificando antes que las condiciones de finalización no se hayan cumplido, y utilizan el instante del temporizador registrado en Unity en el que se muestra estímulo y luego lo resta con el instante en el que el participante presiona la tecla (ver *Figura 9*). Inmediatamente después, el juego registra en un archivo de Excel delimitado por comas (.csv) la información con la siguiente estructura: el TR, el estímulo frente al cual reacciono y un valor de verdadero o falso si es que presiono la tecla correcta. Registra 0 en TR y TRUE cuando pasa el estímulo falso y no se presionó nada o 0 y FALSE cuando no se presionó nada durante 3 segundos de aparecido un estímulo. La flecha mostrada por estímulo se pinta en el elemento “Texto” del “Canvas” (ver cap. IV).



**Figura 9. Flujograma de medición de TR.**

**Elaboración propia.**

Las apariciones de estímulos se controlan con las co-rutinas explicadas en el capítulo IV y el estímulo que aparece obedece a una función aleatoria. Si se presiona una tecla en el estímulo falso, el juego detiene la co-rutina de desaparición normal de ese estímulo inmediatamente y hace el registro del error, por ejemplo.

Para controlar al personaje principal se utiliza un elemento llamado Animator y sus animaciones fluyen con Triggers (ver Métodos y herramientas de Unity del capítulo III). Cada animación de ataque está relacionada a una flecha y solo se ejecuta si es una reacción correcta. De no ser así, el personaje ejecuta con un Trigger la animación de fallo.

## 5.2. Juego en 2D

La *Figura 10* demuestra la creación del videojuego 2D. En este, los estímulos son estáticos y solo el personaje principal y el fondo se logran mover. Se utilizan Sprites, que son objetos de juego (GO) que tienen un componente llamado "Sprite

Renderer”, el cual permite la inclusión de algún sprite, y en algunos casos el componente “Animator”, que involucra una figura en constante movimiento. Básicamente, son los objetos gráficos con los cuales se trabaja en el modo 2D. En ese sentido, solo se necesita un script y un GO para desarrollar el videojuego 2D (ver Métodos y herramientas de Unity del capítulo III). En el script, por cada corrida de co-rutina de toma de tiempo se hace un cambio de Sprite encima del mismo GO. Entre tiempos de espera, simplemente se le asigna al GO un Sprite vacío.

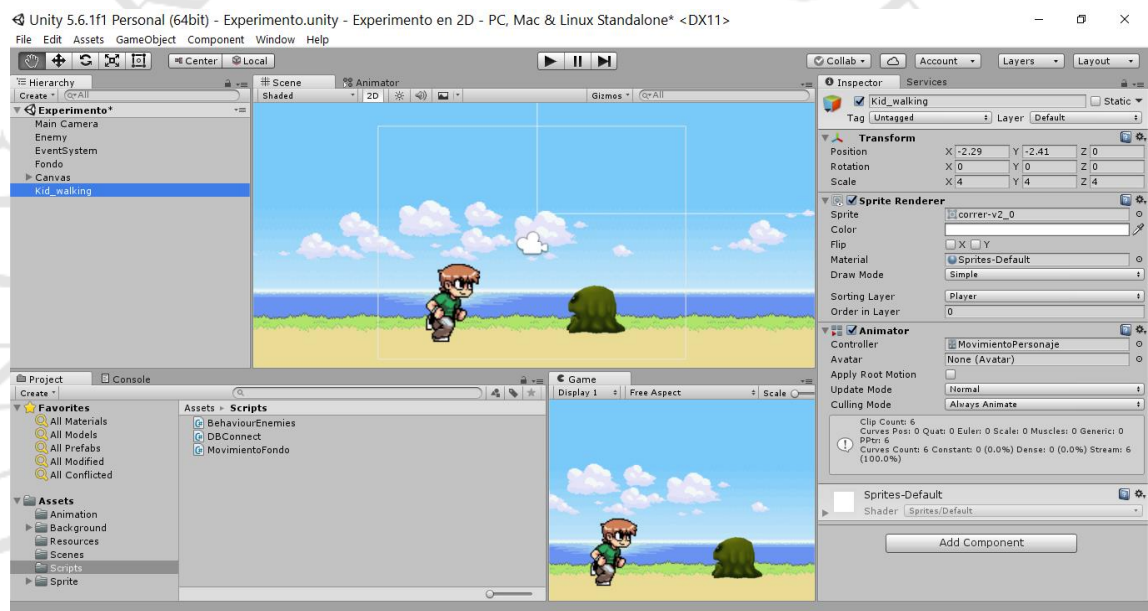


Figura 10. Desarrollo del juego 2D.

Elaboración propia.

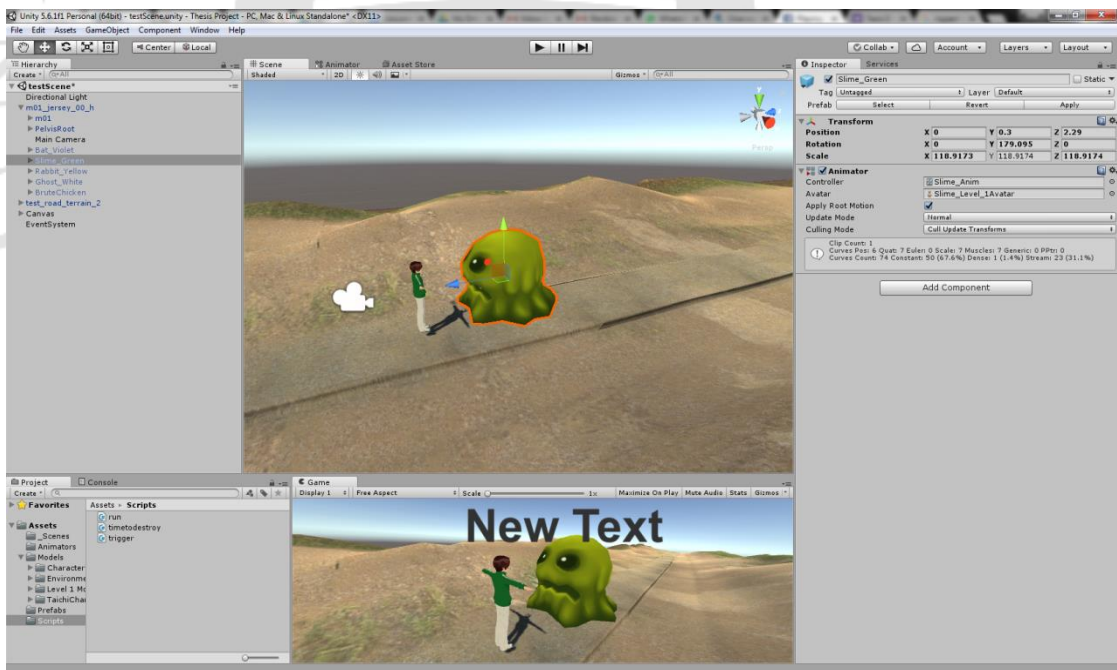
### 5.3. Juego en 3D

El juego en 3D utiliza la misma estructura general que el programa previo, la diferencia radica en el uso de animaciones avanzadas, ángulo distinto de cámara y, por supuesto, modelos en 3D.

Unity permite el uso de una estructura jerárquica para ordenar tus GOs, con

ello se pueden crear fácilmente dependencias entre los objetos. La dependencia principal usada para programar este juego es la dependencia de posición. Como se puede observar en la *Figura 11* (parte izquierda, tab “Hierarchy”) al estar todos los estímulos (los monstruos que aparecen) jerárquicamente por debajo del personaje principal “m01\_jersey”, sus posiciones son relativas al mismo (si él se mueve, sus dependientes se mueven con él, quedando siempre a la misma distancia y posición relativa).

A diferencia de 2D, cada estímulo es un GO diferente y para reducir la carga al procesador y no afectar los tiempos medidos, todos los objetos son creados al instante que inicia el juego y solo se activan (aparecen en pantalla) dependiendo del inicio de la co-rutina y el resultado del método que genera un número aleatorio entre impulsos.



**Figura 11. Desarrollo del juego 3D.**  
Elaboración propia.

## 5.4. Validación de la medición de tiempos

Antes de empezar a realizar formalmente el experimento, se validó que los videojuegos midan de manera precisa el TR, por lo cual se tuvo que hacer una comparación de tiempos entre tiempo de captura de señal en el juego versus tiempo de captura de señal en instrumento de recepción de señales válido. Entre un osciloscopio (ver *Figura 13*) y una placa PCI de recepción de señales (ver *Figura 14*) se eligió esta última por disponibilidad y facilidad de manejo de datos.

Para poder enviar señales a la placa se utilizó un transformador de señales de USB a TTL (ver *Figura 12*) para poder hacer envíos como puerto serial. Este transformador estaba conectado a una tabla de circuitos SCB-50/BRD (ver *Figura 15*) y de ella una conexión con cable IDE hacia la placa receptora.

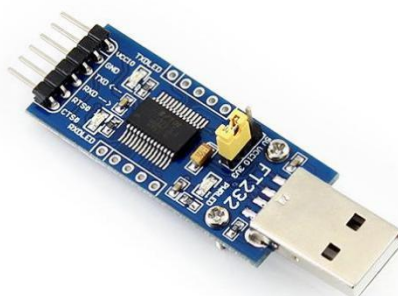


Figura 12. Chip FT232R.

En "FT232 USB UART Board (Type A) FT232R FT232RL to RS232 TTL Serial Supports Mac Linux Android WinCE Windows 7/8/8.1/10", por AliExpress, 2017, <https://es.aliexpress.com/item/FT232-USB-UART-Board-Type-A-232-USB-To-UART-Serial-TTL-Convertor-Module-Development-Board/1910381972.html>.

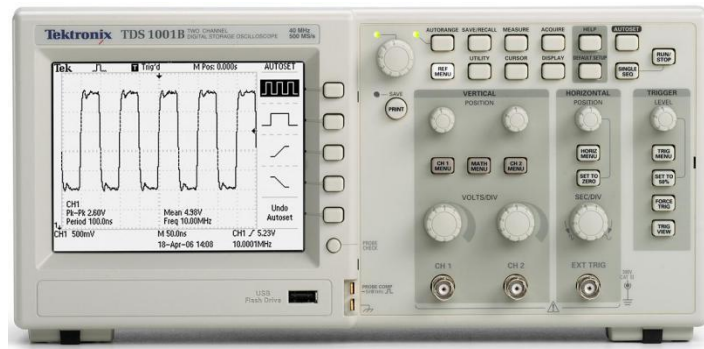


Figura 13. Osciloscopio.

En “DEFINICION, USO Y TIPOS DE OSCILOSCOPIOS”, por Equipos y laboratorio de Colombia S.A.S, 2017, [http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos\\_mo.php?it=1484](http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=1484)



Figura 14. Placa PCI.

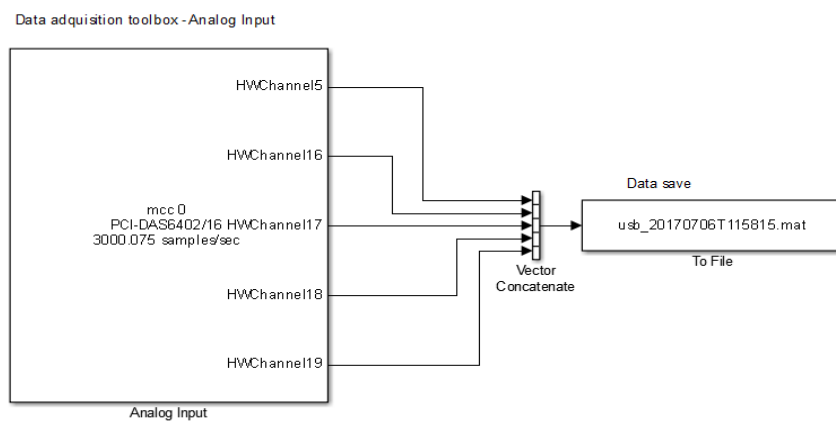
En “High Speed, 16-Bit, 64 Channel Analog Input Board with Analog Outputs and Digital I/O for the PCI Bus”, por Omega, 2017, <https://www.omega.com/pptst/PCI-DAS6402.html>



**Figura 15. Tabla de circuitos.**

En “SCB-50”, por Logicbus, 2017, [http://tienda.logicbus.com.mx/SCB-50\\_p\\_3059.html](http://tienda.logicbus.com.mx/SCB-50_p_3059.html)

Con el entorno de simulación de MATLAB, SimuLink, se pudo obtener las señales que recibe la tarjeta y almacenarlas en un archivo para ser comparadas con la información que capturan los videojuegos (ver *Figura 16*).



**Figura 16. Representación visual de programa en entorno SimuLink en Matlab.**

Se ven los canales desde los cuales se envía la información (impulsos eléctricos producidos por presiones de teclado) hacia un vector que las concatena y luego guarda en un archivo. Elaboración propia.



Ambos videojuegos, tienen un temporizador por defecto que toma el tiempo desde el inicio de la aplicación en segundos contando decimales hasta más de 3 ms, que es la medida en la que las diferencias son despreciables. SimuLink, por su parte, también tiene este temporizador. Los videojuegos y MatLab guardan su información en segundos en un archivo aparte. Por cada presión de tecla, los videojuegos hacen un envío de señal hacia la tarjeta y en ese mismo instante capturan los segundos que está contando el temporizador. SimuLink recibe la señal y la captura, además de guardar el conteo de su temporizador en el instante de recepción.

Para realizar la validación se restan un registro de tiempo guardado por el juego y su registro anterior inmediato para obtener los milisegundos que han pasado entre cada impulso, estos deberían ser iguales a los resultados de las restas en SimuLink. Para el juego 2D el promedio de diferencias fue de 1 milisegundo y en 3D fue de igual manera. Ambos valores demostraban que si era posible realizar el experimento (ver *Tabla 4*).

**Tabla 4. Comparación de TR entre ambientes 2D y 3D de los videojuegos en milisegundos (ms).**

|                     | 3D    | 2D    |
|---------------------|-------|-------|
| Media               | 1.27  | 1.27  |
| Desviación estándar | 1.05  | 0.85  |
| Varianza            | 0.001 | 0.001 |

Nota. Elaboración propia.

Durante todo el desarrollo se debió tomar en cuenta la validez de las mediciones, el código de los videojuegos debía estar optimizado para cargar lo menos posible al procesador y no afectar la toma de tiempos. Por este motivo existe una versión modificada del videojuego que toma de manera automática los datos para la prueba de validación, con mil estímulos por cada videojuego y así

obtener un promedio válido de los grupos mencionados. En base a los resultados positivos se pasó a ejecutar la prueba de concepto.

## **5.5. Toma y preparación de datos**

Al obtener resultados favorables en la validación de la medición de tiempos, se procedió a probar el experimento en los participantes. Anteriormente un archivo csv se guardaba por cada individuo, y en sus columnas se almacenaba el TR, cuál fue el estímulo y si fue un acierto respectivamente. La información de los 29 participantes se consolidó en un archivo con formato csv, el cual tiene cambiado el orden de las columnas según el siguiente detalle:

- TR: Tiempo de reacción frente a determinada ocurrencia de estímulo.
- Correcto: Si es que acertó en su reacción.
- Estímulo: Cuál de los estímulos se le presentó.
- Persona: Nombre del participante.
- Versión: Si fue 2D o 3D
- Orden: Si se tomó 2D o 3D primero.

# CAPÍTULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas estadísticas se hacen con la hipótesis nula de que no existen diferencias entre las mediciones de medias y con el 95% de confianza.

## 6.1. Prueba de concepto

Se tomó una prueba de concepto con el primer participante para poder verificar que los RT estaban dentro de los parámetros esperados basado en los artículos revisados, donde los tiempos de reacción propuestos fluctuaban entre 300 y 700 ms. Aquí obtuvimos alrededor de 500 ms.

Tabla 5. Resultado de la prueba de concepto.

| Persona | 2D        | 3D        |
|---------|-----------|-----------|
| V.F.    | 0.5120325 | 0.5475045 |

Nota. Elaboración propia.

## 6.2. Prueba de proporciones de error y prueba Fisher

El resultado bajo las dos pruebas (ver *Tabla 6*) no muestra evidencia estadística de que existan más errores en un juego en específico ( $P > 0.05$ ) siendo la hipótesis nula que en los dos juegos se cometen la misma cantidad de errores, lo cual nos podría alentar a pensar que efectivamente no existen diferencias TR entre 2D y 3D. Sin embargo, faltan más pruebas aún. Además, viendo las proporciones, se puede observar que la cantidad de errores es ínfima.

**Tabla 6. Resultados de la prueba de proporción de error y prueba Fisher.**

| Prop. test          |             | Fisher test         |           |
|---------------------|-------------|---------------------|-----------|
| confidence interval |             | confidence interval |           |
| -0.003519981        | 0.010661901 | 0.6526053           | 3.8925028 |
| x-squared           | 0.79357     |                     |           |
| DF                  | 1           |                     |           |
| p-value             | 0.373       | p-value             | 0.3183    |
| mean                |             |                     |           |
| prop 1              | 0.010026738 |                     |           |
| prop 2              | 0.006455778 |                     |           |

Nota. Elaboración propia.

### 6.3. Análisis de Varianza por bloques

Lamentablemente existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula: los estímulos como tales no influyen en el resultado, por ejemplo, mostrar el murciélago no impacta en el tiempo más que un conejo. Se ve en la *Tabla 7* y *Tabla 8* que  $p < 0.05$ , lo que significa que las medias entre estímulos son distintas y además que las personas también influyen en los resultados. A pesar de tener un resultado que no nos permite agrupar y evaluar todos los datos como quisiéramos, aún podemos calcular la prueba t pareada, pero comparando las medias por cada estímulo.

**Tabla 7. ANOVA de TR por persona y estímulo del juego 2D.**

| Predictors | Sum of squares | df | Mean Square | F      | P         |
|------------|----------------|----|-------------|--------|-----------|
| Persona    | 0.43321        | 28 | 0.0154718   | 38.651 | < 2.2E-16 |
| Estimulo   | 0.0125         | 3  | 0.0041653   | 10.406 | 6.814E-06 |
| Residuales | 0.03362        | 84 | 0.0004003   |        |           |

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 8. ANOVA de TR por persona y estímulo del juego 3D.**

| Predictors | Sum of squares | df | Mean Square | F      | P         |
|------------|----------------|----|-------------|--------|-----------|
| Persona    | 0.44677        | 28 | 0.015956    | 32.703 | < 2.2E-16 |
| Estimulo   | 0.03841        | 3  | 0.0128044   | 26.444 | 4.502E-12 |
| Residuales | 0.04098        | 84 | 0.0004879   |        |           |

Nota. Elaboración propia.

## **6.4. Pruebas t pareadas**

Observando la *Tabla 9*, *Tabla 10*, *Tabla 11* y *Tabla 12* podemos afirmar que hay suficiente evidencia estadística como para rechazar la hipótesis nula. Los TR son diferentes entre 2D y 3D para todos los estímulos. Todos los  $p < 0.05$ . Además, el promedio de medias de cada estímulo tiene menor medida de TR en 2D que en 3D.

**Tabla 9. Prueba T para el estímulo del murciélago.**

|         |           |                     |           |
|---------|-----------|---------------------|-----------|
|         |           | confidence interval |           |
|         |           | 0.02993019          | 0.0611477 |
| <hr/>   |           | <hr/>               |           |
| t-value | 5.9763    |                     | mean      |
| DF      | 28        | 2D                  | 0.5148039 |
| p-value | 1.951E-06 | 3D                  | 0.5603428 |

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 10. Prueba T para el estímulo del conejo.**

|         |         |                     |           |
|---------|---------|---------------------|-----------|
|         |         | confidence interval |           |
|         |         | 0.004255207         | 0.0304284 |
| <hr/>   |         | <hr/>               |           |
| t-value | 2.7145  |                     | mean      |
| DF      | 28      | 2D                  | 0.5012818 |
| p-value | 0.01124 | 3D                  | 0.5186236 |

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 11. Prueba T para el estímulo del fantasma.**

|         |          |                     |            |
|---------|----------|---------------------|------------|
|         |          | confidence interval |            |
|         |          | 0.01010139          | 0.04337585 |
| <hr/>   |          | <hr/>               |            |
| t-value | 3.2921   |                     | mean       |
| DF      | 28       | 2D                  | 0.5293087  |
| p-value | 0.002694 | 3D                  | 0.5560473  |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 12. Prueba T para el estímulo del slime.

|         |          |                     |             |
|---------|----------|---------------------|-------------|
|         |          | confidence interval |             |
|         |          | 0.007054355         | 0.028876243 |
| <hr/>   |          | <hr/>               |             |
| t-value | 3.3728   | mean                |             |
| DF      | 28       | 2D                  | 0.5080153   |
| p-value | 0.002191 | 3D                  | 0.5259806   |
| <hr/>   |          | <hr/>               |             |

Nota. Elaboración propia.

## 6.5. Discusión

Se observa que, si bien no existe evidencia para clamar que las proporciones de error son diferentes, las medias entre todos los estímulos 2D y 3D (comparación contra ellos mismos) tienen diferencias estadísticamente significativas y se puede observar que todas las medias totales son mayores siempre en 3D (peor tiempo).

A comparación de las pruebas realizadas por Lee (2013), quien concluyó que no existían diferencias de TR entre esas dimensiones y ejecutó toma de medidas con ejercicios de todo el cuerpo, las nuestras fueron solo moviendo una mano y hasta a veces solo el dedo. El movimiento de todo el cuerpo tal vez establezca esa brecha que existe entre estímulos frente a las máquinas que tomaron el tiempo. \*

Sorprende el resultado, pues se pensó que 3D, por ser más llamativo y tener más animaciones, captaría mejor la atención. Tal vez, entonces, el tiempo de reacción no sea una medida adecuada para comparar videojuegos y sea más útil, en cambio, para pruebas que utilicen electroencefalogramas. Solo con esa prueba se podría ver verdaderamente cuáles son los efectos de 2D vs 3D en el mismo cerebro y cuál activa mejor las zonas de atención.

Varios de los participantes del experimento comentaron al acabar que el

juego en 3D les pareció, más detallado, más vistoso, más interesante y divertido. Entonces, ¿por qué obtuvieron esos mismos participantes tiempos más bajos en 2D? Tal vez, justamente, como es más vistoso el juego 3D, los participantes se distraen más con “el arte” del juego y sus tiempos empeoran a pesar de estar llamando, efectivamente, mucho más su atención. Esto nos lleva a pensar que, posiblemente, las pruebas más sencillas y monótonas que criticamos eran justamente así para evitar que el participante se concentre en la presentación misma de los estímulos y no en la actividad que se le demanda realizar.

Encontramos que la media de los TR de participantes para cada estímulo está dentro del rango normal (a comparación de otros trabajos), lo cual sugiere que la presente prueba no tuvo mayor nivel de dificultad o generación de fatiga respecto a los demás experimentos estudiados.

Encontramos raro que ningún investigador haya mencionado alguna técnica o consideración que aborde la influencia que los mismos estímulos presentan sobre el resultado.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Hay evidencia para afirmar que existe diferencias entre TR frente a estímulos 2D y 3D, siendo el 3D el que genera el mayor TR. Esta diferencia varia para cada tipo de estímulo: el murciélago tiene una diferencia de 45.54 ms (ver *Tabla 9*), el conejo de 17.34 ms (ver *Tabla 10*; *Error! No se encuentra el origen de la referencia.*), el fantasma de 26.74 ms (ver *Tabla 11*) y el slime de 17.97 ms (ver *Tabla 12*).
- Los tiempos de reacción a estímulos visuales en 3D son aproximadamente 6% más lento que frente a estímulos 2D.
- Se analizó si los estímulos pueden tener un impacto en los datos a través de un análisis de varianza por bloques, usando a las personas como agrupación. Los resultados demostraron que tanto los estímulos como los participantes tienen un impacto estadísticamente significativo en las mediciones de los videojuegos 2D y 3D (ver *Tabla 7* y *Tabla 8*, respectivamente). Sin embargo, también es pertinente resaltar que no se está considerando el factor orden (el cual dejamos fuera del alcance del experimento). Esto significaría que un participante A que hizo el videojuego 2D al inicio del experimento y el videojuego 3D en segundo lugar no va a tener el mismo desempeño que un participante B, que realiza el videojuego 2D luego de hacer el videojuego 3D (por fatiga, por ejemplo).
- Se sugiere hacer un estudio con electroencefalograma para verificar que, a pesar de sacar mayores tiempos en 3D, se están activando zonas del cerebro relacionadas a la atención de mejor manera que en la versión 2D. El artículo de Li, H., Seo, J., Kham, K., & Lee, S. (2008) nos brinda un punto de inicio sobre esta idea.
- Se recomienda que al momento de realizar este tipo de experimentos se considere la evaluación de factores que puedan afectar los procesos cognitivos como:

enfermedades, medicamentos, calidad de sueño, situaciones de estrés, etc.

- Después de analizar los resultados obtenidos, observamos que el menor, y mejor, tiempo en las pruebas 2D se puede deber a que el videojuego como tal en realidad estaba actuando como distractor, ya que la tarea del participante, en realidad, es reaccionar ante la flecha que sale en pantalla. Si bien esta flecha está relacionada invariablemente a un estímulo específico, eso no significa que el participante este reaccionando ante el estímulo, sino más bien a la flecha. Esto es respaldado por las indicaciones dadas antes del videojuego en las cuales se le indica al participante que “presione la flecha que se muestra al momento de visualizar cierto estímulo”.
- En consecuencia, esto significaría que el juego 3D obtuvo mayores (peores) tiempos de reacción, gracias a que fue un “mejor distractor” y, por lo tanto, captó mejor la atención del participante. Además de esto, se observa que existen factores como el tamaño del estímulo, el foco, el ángulo de cámara, etc.
- Con esta premisa se recomienda realizar más experimentos para determinar el impacto de variables adicionales que podrían estar afectando los resultados. Sugerimos esta lista de experimentos:
  - Dos videojuegos en 2D:
    - El primero debe cambiar el tamaño de los elementos en el videojuego 2D por proporción, tomando en cuenta el tamaño y perspectiva del 3D.
    - El segundo realizaría lo mismo, pero solo toma en cuenta el tamaño 3D sin perspectiva.
  - Seis juegos en 3D :
    - El tercero debe modificar los tamaños de los elementos en el juego incluyendo el tamaño (altura) de los estímulos del juego en 2D del

presente trabajo, tomando en consideración un punto focal, la altura del estímulo y del personaje principal, y la distancia tanto del estímulo al foco como del personaje principal al foco.

- El cuarto tomaría en cuenta el tamaño de los estímulos del juego en 2D original utilizando solamente proporciones entre los tamaños 2D y 3D, sin puntos focales (proporción sencilla).
  - El quinto consistiría en cambiar el foco de la cámara e igualarlo al 2D. El juego 3D original tenía un foco de cámara diferente al del 2D, lo cual afectaba el ángulo de visualización de estímulos.
  - El sexto debe involucrar dos cambios: el foco cambiado así como el tamaño de los estímulos del juego en 2D (proporción sencilla, puesto que ya no hay perspectiva distinta por ángulo de cámara).
  - El sétimo juego debe contemplar dos cambios: el foco de cámara cambiado así como igualar la distancia entre personaje y estímulo del juego que se ve en el juego 2D.
  - El octavo juego incluiría tres cambios: el foco cambiado, el tamaño de los estímulos del juego en 2D, y la distancia entre personaje y estímulo del juego en 2D.
- Una vez determinado el juego que tenga mejores tiempos de reacción por estímulo, que sería en teoría el juego “menos distractor”, se sugiere un cambio final que involucra ahora el estímulo principal al cual se debe reaccionar directamente: Cambiar la flecha que se presenta en el juego (actualmente plana 2D) a una flecha 3D.

## REFERENCIAS

Abbasi-Kesbi, R., Memarzadeh-Tehran, H., & Deen, M. J. (2017). Technique to estimate human reaction time based on visual perception. *Healthcare Technology Letters*, 4(2), 73–77.

doi: 10.1049/htl.2016.0106

AliExpress (2017). Chip FT232R. Recuperado de <https://es.aliexpress.com/item/FT232-USB-UART-Board-Type-A-232-USB-To-UART-Serial-TTL-Convertor-Module-Development-Board/1910381972.html>

Chen, X., Chen, H., & Hu, P. (2014). Removal of muscle artifacts from single-channel EEG based on ensemble empirical mode decomposition and multiset canonical correlation analysis. *Journal of Applied Mathematics*,

doi: 10.1155/2014/261347

CPU-Z. (2017). CPU-Z. Obtenido de CPUID: <http://www.cpuid.com/softwares/cpu-z.html>

Equipos y laboratorio de Colombia S.A.S (2017). Osciloscopio. Recuperado de [http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos\\_mo.php?it=1484](http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=1484)

Eyzaguirre, R. (2017, July 12) Personal Interview.

Eyzaguirre R. (2016) Estadística y Probabilidades 2: Apuntes de Clase Recuperado de Universidad de Lima Blackboard: <https://ulima.blackboard.com/>

FotoCristal 3D. (2005) *¿Cuál es la diferencia entre una imagen en 3D, en 2D y en 2DPlus?* Obtenido de *¿Cuál es la diferencia entre una imagen en 3D, en 2D y en 2DPlus?*: [http://www.fotocristal.com/v\\_fotocristal/informacion/informacionver.asp?cod=22&te=14&idage=77&vap=0](http://www.fotocristal.com/v_fotocristal/informacion/informacionver.asp?cod=22&te=14&idage=77&vap=0)

Green, C. Shawn & Bavelier Daphne. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature* volume 423, pages 534–537.

doi: 10.1038/nature01647

Jakobsen, L. H., Sorensen, J. M., Rask, I. K., Jensen, B. S., & Kondrup, J. (2011). Validation of reaction time as a measure of cognitive function and quality of life in healthy subjects and patients. *Nutrition*, 27(5), 561-70.

doi: 10.1016/j.nut.2010.08.003

Jiang, N. (2013). *Conducting Reaction Time Research in Second Language Studies*. Routledge.

Karle, James W., Watter, Scott & Shedden, Judith M. (2010). Task switching in video game players: Benefits of selective attention but not resistance to proactive interference. *Acta Psychologica*, Volume 134, Issue 1.

doi: 10.1016/j.actpsy.2009.12.007

Kashihara, K., & Nakahara, Y. (2011). Evaluation of task performance during mentally imaging three-dimensional shapes from plane figures. *Perceptual and motor skills*, 113 1, 188-200.

doi: 10.2466/03.04.22.PMS.113.4.188-200

Lee, M. J. C., Tidman, S. J., Lay, B. S., Bourke, P. D., Lloyd, D. G., & Alderson, J. A. (2013). Visual search differs but not reaction time when intercepting a 3D versus 2D videoed opponent. *Journal of Motor Behavior*, 45(2), 107. Retrieved from [http://fresno.ulima.edu.pe/ss\\_bd00102.nsf/RecursoReferido?OpenForm&id=PROQUEST-41716&url=/docview/1326275086?accountid=45277](http://fresno.ulima.edu.pe/ss_bd00102.nsf/RecursoReferido?OpenForm&id=PROQUEST-41716&url=/docview/1326275086?accountid=45277)

Li, H., Seo, J., Kham, K., & Lee, S. (2008). Measurement of 3D Visual Fatigue Using Event-Related Potential (ERP): 3D Oddball Paradigm. 2008 3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video, 213-216.

Logicbus (2017). Tabla de circuitos. Recuperado de [http://tienda.logicbus.com.mx/SCB-50\\_p\\_3059.html](http://tienda.logicbus.com.mx/SCB-50_p_3059.html)

Luce, R. (1991). *Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization*. Oxford University Press.

Magill, R. A. (1998). *Motor Learning Concepts and Applications*, 5th edition. Boston, USA: McGraw-Hill. P. 19.

Measurement Computing. (2017). PCI-DAS6402/16. Recuperado de: <https://www.mccdaq.com/pci-data-acquisition/PCI-DAS6402-16.aspx>

Nick Lee, Amanda J. Broderick & Laura Chamberlain (2007). What is 'neuromarketing'? A discussion and agenda for future research. *International Journal of Psychophysiology*, 63(2), 199-204  
doi: 10.1016/j.ijpsycho.2006.03.007

OCW Universidad de Cantabria. (2014). *14.12 La atención y el tiempo de reacción*. Obtenido de 14.12 La atención y el tiempo de reacción: <http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/biogerontologia/materiales-de-clase-1/capitulo-14.-fundamentos-biologicos-del/14.12-la-atencion-y-el-tiempo-de-reaccion>

Omega (2017). Placa PCI. Recuperado de <https://www.omega.com/pptst/PCI-DAS6402.html>

Peretti, C., Ferreri, F., Blanchard, F., Bakchine, S., Peretti, C. R., Dobrescu, A., Chouinard, G. (2008). Normal and pathological aging of attention in presymptomatic huntington's, huntington's and alzheimer's disease, and nondemented elderly subjects. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 77(3), 139-46. Retrieved from [http://fresno.ulima.edu.pe/ss\\_bd00102.nsf/RecursoReferido?OpenForm&id=PROQUEST-41716&url=/docview/235475669?accountid=45277](http://fresno.ulima.edu.pe/ss_bd00102.nsf/RecursoReferido?OpenForm&id=PROQUEST-41716&url=/docview/235475669?accountid=45277)

- Press. Zomeran, A., & Brouwer, W. (1994). *Clinical Neuropsychology of Attention*. Oxford University Press.
- Ronald Cotaquispe (2013). Comparación de un personaje de videojuegos en formato 2D y 3D. Recuperado de <http://avatar.inf.pucp.edu.pe/desarrollo-de-videojuegos-en-el-peru-2d-vs-3d/>
- Scherer, R., Member, IEEE, Moitzi, G., Daly, I. & Gernot R. Müller-Putz (JUNE 2013) On the Use of Games for Noninvasive EEG-Based Functional Brain Mapping. IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND AI IN GAMES, VOL. 5, NO. 2
- Subramanyam, V., Jamuna, D., & Kalavathi, P. (2016). A STUDY OF REACTION TIME AND ATTENTION CONTROL AMONG ATHLETES OF SPORTS TRAINING CENTERS OF SPORTS AUTHORITY OF INDIA. *International Journal of Sports Sciences and Fitness*, 6(2), 132-142. Retrieved from [http://fresno.ulima.edu.pe/ss\\_bd00102.nsf/RecursoReferido?OpenForm&id=PROQUEST-41716&url=/docview/1806428915?accountid=45277](http://fresno.ulima.edu.pe/ss_bd00102.nsf/RecursoReferido?OpenForm&id=PROQUEST-41716&url=/docview/1806428915?accountid=45277)
- Subramanyam, V., & Manilal, K. P. (2014). THE INTERRELATIONSHIP OF SIMPLE VISUAL REACTION TIME, CHOICE VISUAL REACTION TIME AND ATTENTION CONTROL AMONG THE NATIONAL LEVEL PLAYERS OF SELECTED DISCIPLINES OF SPORTS AUTHORITY OF INDIA. *International Journal of Sports Sciences and Fitness*, 4(2), 157-164. Retrieved from [http://fresno.ulima.edu.pe/ss\\_bd00102.nsf/RecursoReferido?OpenForm&id=PROQUEST-41716&url=/docview/1550839483?accountid=45277](http://fresno.ulima.edu.pe/ss_bd00102.nsf/RecursoReferido?OpenForm&id=PROQUEST-41716&url=/docview/1550839483?accountid=45277)
- Tamm, L., Narad, M. E., Antonini, T. N., O'brien, K., M., Hawk, Larry W. Jr, & Epstein, J. N. (2012). Reaction time variability in ADHD: A review. *Neurotherapeutics*, 9(3), 500-8.  
doi: 10.1007/s13311-012-0138-5
- The R Foundation. (2017). What is R? Obtenido de R Web Site: <https://www.r-project.org/about.html>

Unity. (2017). Requisitos del sistema para Unity. Obtenido de Unity System Requirements: <https://unity3d.com/es/unity/system-requirements>

Unity. (2017). Unity User Manual (5.6). Retrieved from <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>

Ward, A. (2004). *Attention: A Neuropsychological Approach*. Psychology

Xia, R. T., & Zhou, X. Y. (2013). Measurement on reaction time of visual attention in depth during driving. *Applied Mechanics and Materials*, 319, 343.

doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.319.3

Xiao, Y., Ma, F., Lv, Y., Cai, G., Teng, P., Xu, F., & Chen, S. (2015). Sustained attention is associated with error processing impairment: Evidence from mental fatigue study in four-choice reaction time task. *PLoS One*, 10(3)

doi:10.1371/journal.pone.0117837

Yilmaz, G., Urgan, P., Sebik, O., Uginčius, P., & Türker, K. S. (2014). Interference of tonic muscle activity on the EEG: a single motor unit study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 504. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00504>



## BIBLIOGRAFÍA

Feng, X., Morandi, A., Boehne, M., Imvised, T., Ure, B. M., Kuebler, J. F., & Lacher, M. (2015). 3-dimensional (3D) laparoscopy improves operating time in small spaces without impact on hemodynamics and psychomental stress parameters of the surgeon. *Surgical Endoscopy*, 29(5), 1231-1239.

doi:10.1007/s00464-015-4083-3

Takada, M., Fukui, Y., Matsuura, Y., Sato, M., & Takada, H. (2015). Peripheral viewing during exposure to a 2D/3D video clip: Effects on the human body. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 20(2), 79-89.

doi: 10.1007/s12199-014-0424-4

Unity. (2017). Welcome to the Unity Scripting Reference! Obtenido de Unity Documentation: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/index.html>