

[dx.doi.org/10.17488/RMIB.41.1.7](https://doi.org/10.17488/RMIB.41.1.7)

E-LOCATION ID: 855

## Variaciones de los tiempos de reacción frente a cambios de perspectiva y tamaño de los estímulos 2D y 3D en atención selectiva

### Variations of reaction times explained by stimuli changes in size and perspective in 2D and 3D for selective attention

Sergio Torres-Tejeda<sup>1</sup>, José Antonio Portilla-Fernández<sup>1</sup>, Carlos Andrés Mugruza-Vassallo<sup>2</sup>, Luz Libertad Córdoba-Berrios<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Lima

<sup>2</sup>Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur - UNTELS

#### RESUMEN

Frente a un estímulo objetivo, las personas procesan mediante la atención selectiva antes de realizar toma de decisiones. Si ese estímulo sufre algún cambio en su configuración 2D o 3D, ¿en qué casos una persona reacciona más rápido o más lento? La presente investigación evaluó la influencia de los cambios en las características de los estímulos en experimentos de tiempos de reacción en tareas de atención visual en videojuegos creados en Unity 3D. Para estudiar esas características, se realizó una comparación entre dos experimentos de videojuegos. El primer experimento se dividió en dos bloques: uno mostraba estímulos en 2D y otro en 3D. Se recolectó el tiempo de reacción de los participantes frente a esos estímulos y se obtuvo que el tiempo de reacción fue mayor en 3D en 28.33 ms. En el segundo experimento se incrementaron los bloques (de dos a ocho) para explicar las diferencias de los tiempos de reacción obtenidas en el primer experimento sea por el tamaño o el ángulo relativo que otorga una diferente perspectiva geométrica de presentación de los estímulos en 3D, para lo cual se modificaron algunas características de los estímulos del primer experimento. Los resultados después de comparar los distintos escenarios muestran que la modificación de las características tiene una influencia en la atención selectiva, pues los tiempos de reacción del primer experimento varían en comparación a los del segundo experimento dependiendo del cambio realizado (entre 65 y 67 ms de diferencia para 2D y entre 53 y 77 ms para 3D). En la discusión, se analiza el ámbito de los estímulos en 2D y 3D en el neuromarketing o el deporte ante los cambios de tamaño y ángulo de la cámara. En ambos escenarios, el presente trabajo sugiere evaluar para cada caso la modificación en sus presentaciones o herramientas en un consiguiente incremento del tiempo de reacción de los potenciales usuarios o equivalentemente en un nivel bajo de atención.

**PALABRAS CLAVE:** Tiempo de reacción (RT), estímulos en 3D, estímulos en 2D, perspectiva geométrica, atención selectiva, videojuegos

### ABSTRACT

When facing a goal-stimulus, people have a certain degree of attention. Therefore, when stimulus has changes in 2D or 3D configuration, in which cases one would react faster or slower? The present research evaluated the influence of the changes in the characteristics of the stimuli in reaction time experiments in visual attention tasks in videogames made in Unity 3D. For this, a comparison was made between two videogame experiments. The first videogame experiment was divided into two blocks that showed stimuli a block in 2D videogame and another in 3D videogame respectively to the participants and collected their reaction times against these stimuli. The second videogame experiment increase the number of blocks (from two to eight) to explain the differences in the reaction times obtained in the first experiment either by the size or the relative angle of 3D presentation of the stimuli, for which some characteristics of the blocks of the first experiment. The results, after comparing the different scenarios, have shown that the modification of the characteristics changed selective attention, because the reaction times of the first experiment vary in comparison to those of the second experiment depending on the change made (between 65 and 67 ms of difference for 2D and between 53 and 77 ms for 3D). On the discussion, one can question the commercial spheres of 2D stimuli in the so-called neuromarketing or sports. In both scenarios, the present work suggests evaluating for each case changes in their presentations or tools in a consequent control the reaction time of potential users, and this translates into a level of attention control.

**KEYWORDS:** Reaction Time (RT), 3D stimulus, 2D stimulus, geometric perspective, selective attention, videogames

### Correspondencia

DESTINATARIO: Carlos Andrés Mugruza Vassallo  
INSTITUCIÓN: Universidad Nacional Tecnológica  
de Lima Sur - UNTELS  
DIRECCIÓN: Sector 3, Grupo 1A 03, Av. Central, Villa El  
Salvador 042, Perú  
CORREO ELECTRÓNICO: cmugruza@yahoo.com

### Fecha de recepción:

2 de septiembre de 2018

### Fecha de aceptación:

19 de mayo 2019

## INTRODUCCIÓN

El proceso cognitivo de la atención selectiva del ser humano ha sido de interés desde hace algunos cientos de años, pues según Ward es “un proceso por el cual las personas son capaces de enfocarse en un aspecto particular de su ambiente” [1]. De la misma manera, Estévez-González y colegas mencionan que las señales y estímulos contienen información de alerta o ‘arousal’, fuente del tono atencional, selectividad perceptiva, y atención supervisora [2]. Además de considerar que la información en 3D tiene señales adicionales a la que se encuentra en 2D, tales como rotación y formas que permiten cambiar la imagen mental del objeto [19], ello implica que en principio haya más posibilidades de variación atencional ante cambios en los estímulos en 3D. En el presente trabajo se ha realizado un experimento que mide los tiempos de reacción (RT) en ambientes 2D y 3D y se hace énfasis en lo que implica la concentración de los sentidos en un estímulo (o grupo de estímulos) visuales en específico.

Actualmente, la atención es uno de los puntos de interés del marketing. A diferencia de la década de los noventa, donde aparecieron estudios de atención selectiva en la empatía del consumidor con el vendedor [14], de acuerdo con el informe de PRNewswire en 2016, el marketing empresarial desarrolla nuevas metodologías y mecanismos para capturar la atención de los consumidores, siendo el neuromarketing (rama del marketing) uno de los focos donde recae el interés [3], además del comportamiento del consumidor ante la presencia de patrones en las bandas de los productos [25] y la identificación de la marca que crea una imagen y percepción en el consumidor, generando autoexpresión y autoreconocimiento [24], es el objetivo de esta investigación obtener el punto de vista de la forma de los estímulos 2D y 3D en la atención selectiva.

Lo anterior, también es aplicable en el campo del deporte, como es el caso de Subramanyam [4] que examinó el tiempo de reacción visual (simple y de elec-

ción) y el control de atención en centros de entrenamiento deportivo, llegando a la conclusión de que existe una diferencia estadísticamente significativa entre estos grupos con los deportes practicados en el centro. Kida y colegas encontraron que no necesariamente los jugadores de baseball ante tareas Go/No-Go responden en menor tiempo que los controles [27], pero Nakamoto y Mori determinaron en pruebas simplificadas de Go/No-Go que el tiempo de reacción es un indicador relevante de la experiencia deportiva relacionado a la toma de decisiones específicas de deportes como el básquetball y el baseball con menores tiempos de reacción que los controles [26]. En ese sentido, se puede afirmar que se vienen realizando investigaciones y experimentos para determinar qué estímulos mantienen la atención selectiva del ser humano empleando tareas Go/No-Go.

La mayoría de los experimentos de atención selectiva involucran funciones motrices (movimiento del cuerpo), lo que ocasiona interferencia al momento de medir la actividad cerebral relacionada con la atención, a la vez que se recolecta electroencefalograma (EEG) [5]. Al procesar la diferencia de los potenciales relacionados al EEG con el elemento básico y otros aparece de la onda P300 (positiva alrededor de los 300 ms), siendo esta diferencia significativa cuando aparecen estímulos nuevos o relevantes ubicados al centro o lateralmente del estímulo básico [30]. Por ejemplo, Ting y colegas encontraron que las latencias del P300 eran mayores en 3D que en 2D cuando se introduce oclusión en imágenes sencillas de estímulos 2D y 3D como cuadrado y cubo o círculo y esfera, donde el círculo y esfera eran los estímulos poco frecuentes [6]. Experimentos con EEG en estímulos auditivos recogieron las propiedades de los estímulos en frecuencia, duración y amplitud tanto en controles como en pacientes de esquizofrenia [7] [31], la predicción con base en esas propiedades ha mostrado consistencia en el número de regresores con respecto a la contraparte visual [8]. Donde es claro que las técnicas de neuroima-

gen informan adecuadamente sobre atención selectiva, pero limitando en muchos casos el movimiento motor del participante. Para el presente trabajo se considera el cómputo basado en los tiempos de reacción, que no necesariamente tienen esa limitación.

El RT es considerado una medida de cuán saludable se encuentra la función cognitiva del ser humano de acuerdo con Jakobsen <sup>[9]</sup> con base en los resultados de sus experimentos de RT en personas desnutridas frente a personas bien alimentadas. Además de lo anterior, el RT varía drásticamente cuando el nivel de concentración en un estímulo (o grupo de estímulos) no es estable. Asimismo, RT se considera en incontables estudios sobre desorden de atención e hiperactividad tal y como afirma Tamm, en su trabajo de revisión recopilatorio <sup>[10]</sup>, con experimentos ingenieriles comportamentales se puede predecir tempranamente que la respuesta ante un estímulo puede ser controlada por un doble sistema de sensado externo de objetivos o de eventos no esperados <sup>[22]</sup>, lo anterior ha sido confirmado en la década anterior mediante una resonancia magnética funcional.

Si bien se tiene definida la métrica para investigar la atención, sigue faltante la forma en la que se tomará esa métrica. Para eso, considerando los estudios sobre los procesos, Donders dividió los estudios mentales considerando que existen tres tipos de tareas a la hora de evaluar el RT: a) tarea simple, b) tarea de elección y c) tarea go/no-go <sup>[11]</sup>, en la tarea simple solo se presenta un tipo de estímulo y se responde, en la tarea de elección se tienen varios estímulos y cada uno tiene su propia respuesta, y en la tarea go/no-go se presentan dos estímulos y solo se tiene que responder a uno. Siendo el tipo Go/No-Go el empleado en la presente investigación.

Asimismo, Green y Bavelier postularon que los videojuegos de acción mejoran la atención selectiva donde la atención era evaluada antes y después de 6 meses de

juegos diarios de al menos 1 hora en relación al grupo control <sup>[17]</sup>, este artículo seminal nos lleva a considerar los videojuegos para la atención selectiva que se emplean para 2D y 3D en esta investigación.

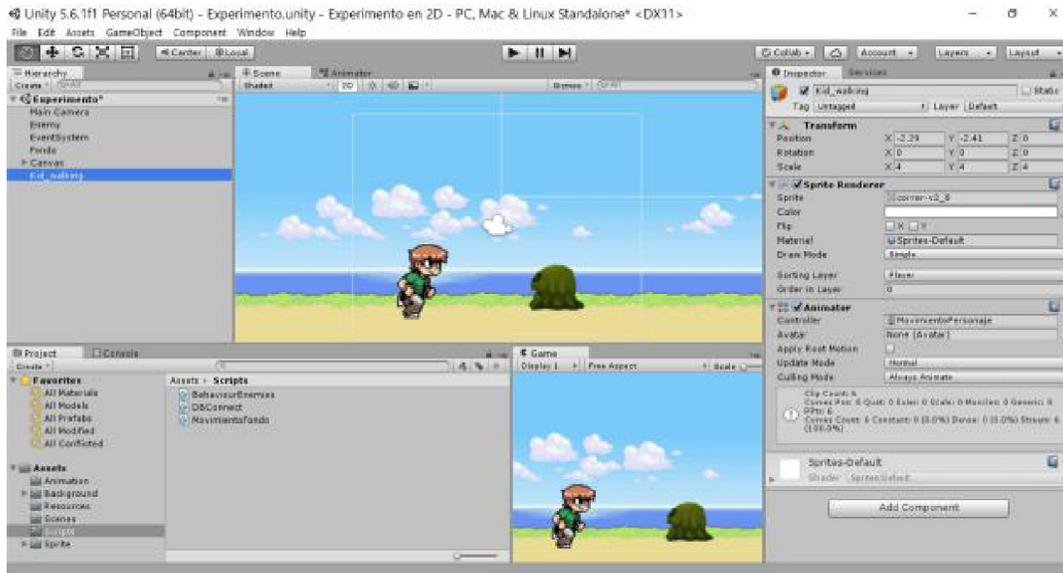
Por lo anterior, considerando los estímulos 2D o 3D, las propiedades de los estímulos y los tiempos de reacción, la pregunta que surge es ¿de qué forma las propiedades de los estímulos afectan el proceso de atención? Como respuesta se realiza el presente trabajo, cuyo objetivo fue comparar los tiempos de reacción entre experimentos para evaluar la influencia de los cambios en tamaños y visualización relativa en las características de los estímulos. Para ello, se realizó una comparación entre dos experimentos: el primer experimento empleó el tipo de tarea Go/No-Go en el cual se capturaron y analizaron datos mediante la programación de dos videojuegos (uno en 2D y otro en 3D). Mientras que el segundo, siguió el tipo de tarea Go/No-Go en el cual se capturaron y analizaron datos mediante la programación de ocho videojuegos (dos en 2D y seis en 3D). En este experimento cada videojuego se modificó para evaluar una característica en particular, ya sea el cambio de ángulo de la cámara al momento de visualizar los estímulos, o su tamaño, que podría determinar la disminución o el incremento en el RT en comparación con los videojuegos del primer experimento.

## METODOLOGÍA

### Participantes de los experimentos

Para ambos experimentos se reclutaron docentes y estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Electrónica.

Para el primer experimento se recolectaron los tiempos de reacción de 30 participantes, los cuales firmaron un consentimiento informado de acuerdo con la ética aprobada para la investigación. Es importante mencionar que una de las recolecciones fue descartada debido a que el participante olvidó sus anteojos.



**FIGURA 1. Desarrollo del juego en 2D. Izquierda: Elementos propios del programa, donde se resalta el uso de Scripts. Centro: Ambiente visual con escala (superior) y vista previa (inferior). Derecha: Propiedades del elemento seleccionado en el lado izquierdo.**

El resto de los participantes del experimento (11 mujeres y 18 hombres) jugaron los videojuegos 2D y 3D voluntariamente. Cabe mencionar que ninguno sufría de una discapacidad motora en las manos o de atención que les impidiera o dificultara realizar el experimento de manera correcta. El rango de edad fue entre 17 y 34 años y los experimentos fueron por la mañana.

Para el segundo experimento, se tomaron los tiempos de reacción a los 30 participantes. Siendo 12 mujeres y 18 hombres, los cuales jugaron los ocho juegos voluntariamente. Como en el experimento anterior, ninguno sufría de una discapacidad física, visual o mental que les impidiera realizar el experimento de manera correcta. El rango de edad fue entre 18 y 40 años y las pruebas se realizaron en la mañana.

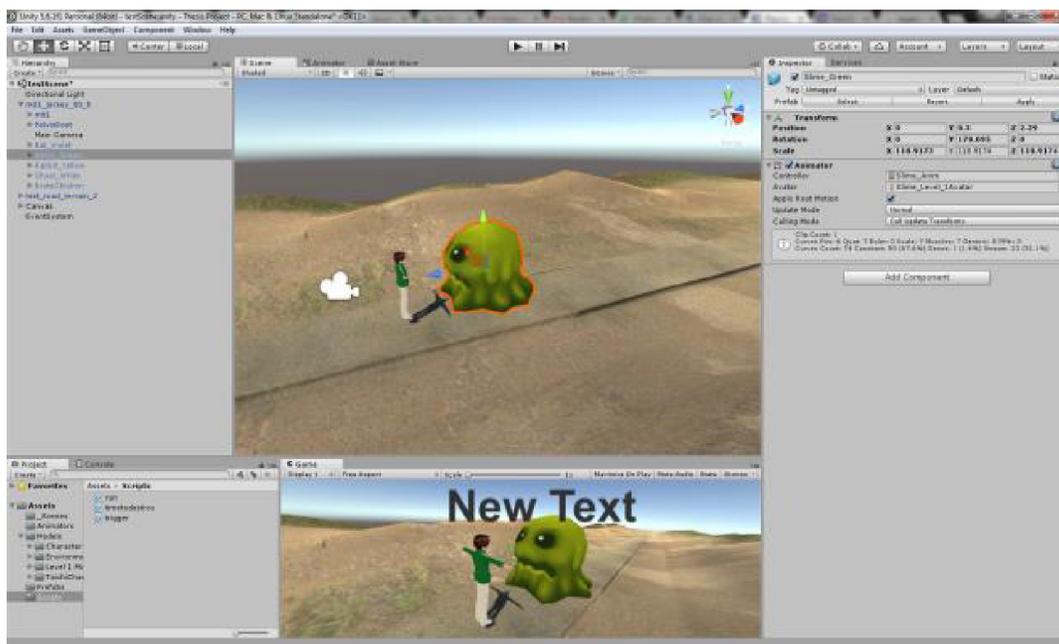
### Programación y desarrollo del experimento inicial

Ambos experimentos recolectaron el RT frente a estímulos presentados en un monitor. Los videojuegos fueron desarrollados en Unity (2017) e incluían estímulos 2D y estímulos 3D con el fin de determinar si

ambos tipos de estímulos y ambiente se procesan en un RT diferente. Las similitudes entre los experimentos fueron las siguientes:

- Un grupo de estímulos conformados por cuatro estímulos estándar y uno distractor (indicados con mayor detalle en el apartado “Descripción del Experimento”).
- Un indicador encima de cada estímulo que demostraba una de las cuatro flechas de dirección: arriba, abajo, izquierda o derecha.

En la Figura 1 se puede observar la programación visual y el desarrollo del juego 2D en UNITY, mientras que en la Figura 2 se ve el mismo proceso para el juego 3D. En ambas Figuras, en el lado izquierdo se encuentran elementos propios del programa Unity que representan elementos del juego (GameObjects, cámara, Scripts escritos en un lenguaje de programación, animaciones, entre otros) <sup>[12]</sup> y que tiene herramientas de comprobada implementación en sistemas de interconexión <sup>[18]</sup>. Al medio se encuentra una vista de edición



**FIGURA 2.** Desarrollo del juego en 3D. Izquierda: Elementos propios del programa, donde se resalta el uso de Scripts. Centro: Ambiente visual con escala (superior) y vista previa (inferior). Derecha: Propiedades del elemento seleccionado en el lado izquierdo, observar las distintas coordenadas de z.

del juego en la cual se pueden mover los elementos del lado izquierdo. Al lado derecho se encuentran las propiedades del elemento seleccionado. Asimismo, en la parte inferior está la carpeta del juego en donde se puede navegar para visualizar los archivos existentes, así como una vista previa del juego final.

Finalmente, para mejorar la resolución temporal por defecto de la programación visual se corrigió parte del código para que el error de medición fuese de media 1.27 ms en 2D y 3D. Para poder enviar señales a la placa se utilizó un transformador de señales de USB a TTL para poder hacer envíos como puerto serial. Este transformador estaba conectado a una placa de circuitos SCB-50/BRD [29] y de ella una conexión con cable IDE hacia la placa receptora PCI-DAS6402 [28].

En la Figura 2 se ilustra un despliegue en 3D similar al de 2D, excepto que ahora la cámara se encuentra en la parte central derecha y que en la parte superior derecha el eje “z” tiene diferentes valores para el

objeto seleccionado. De forma similar sus propiedades se escogen al lado izquierdo el funcionamiento del sistema mecánico del equipo.

Se resalta que las alturas en píxeles del personaje en 2D y 3D son iguales. Aunque, la diferencia aparente se explica debido al foco del juego 3D, el cual afectó el ángulo de visualización de los estímulos.

### Programación y desarrollo del segundo experimento

Debido a los resultados obtenidos del primer experimento, en el que los estímulos en 3D tuvieron un RT mayor que los de 2D, se realizaron variaciones para el segundo experimento. En ese sentido, se buscó evaluar el RT utilizando ocho videojuegos: dos son en 2D y seis son en 3D. En el que cada videojuego tiene una característica importante que podría influir en la disminución o aumento en el RT. Las características fueron propuestas después de analizar el juego 3D del primer experimento, en donde los estímulos tenían un

tamaño mayor en comparación a los del juego 2D. En ese sentido, los cambios que se propusieron fueron modificar el tamaño de los estímulos, así como el foco del juego que afecta el ángulo de visualización. Los juegos en 2D y los dos primeros en 3D evalúan el cambio de tamaño en los estímulos, mientras que los restantes evalúan el cambio de foco del juego que afecta el ángulo de visualización de los estímulos.

La descripción de los 8 juegos que se presentaron de forma aleatoria a los participantes se enlistan en la Tabla 1 y según sus características son 2 videojuegos en 2D y 6 videojuegos en 3D.

### Dos videojuegos en 2D

- El primero evalúa la perspectiva 3D; esto es, si los participantes pueden percibir correctamente el efecto 3D. Esto se refleja en que el estímulo 2D tenga el tamaño del juego 3D (calculada en base al foco) del primer experimento generaba al momento de presentar sus estímulos; es decir, una altura proporcional del estímulo más grande de la original en el primer experimento.
- El segundo evalúa la falta de perspectiva 3D; en ese sentido, se toma en cuenta la incapacidad de no percibir correctamente el efecto 3D. Esto se refleja en que el estímulo 2D tenga el tamaño real en píxeles del estímulo 3D.

### Seis juegos en 3D

- El tercero considera el tamaño (altura) de los estímulos del juego en 2D del primer experimento; para esto se utiliza la relación de semejanza dado por (1) y que se observa en la Figura 3. Se toma 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. Finalmente, con este nuevo valor se calcula mediante una regla de tres (1) para determinar su escala en el programa Unity.

$$h(\text{ficticio\_estímulo}) = \frac{d(\text{foco, personaje})}{d(\text{estímulo, foco})} h(\text{real\_estímulo}) \quad (1)$$

- El cuarto juego toma en cuenta el tamaño de los estímulos del juego en 2D original utilizando solamente proporciones entre los tamaños 2D y 3D; en este caso, se emplea la regla de tres simple para determinar la escala a usar en Unity, utilizando los tamaños por defecto de los estímulos.
- El quinto consiste en cambiar el foco de la cámara. El juego 3D original tenía un foco diferente al del 2D, lo cual afectaba el ángulo de visualización de estímulos (se puede observar al revisar la Figura 1 y la Figura 2); entonces, se creó un juego 3D que tuviera el mismo foco que el juego 2D.
- El sexto incluye dos cambios: el foco y el tamaño de los estímulos del juego en 2D.
- El séptimo juego también incluye dos cambios: el foco y la distancia entre personaje y estímulo del juego en 2D.
- El octavo juego incluye 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.

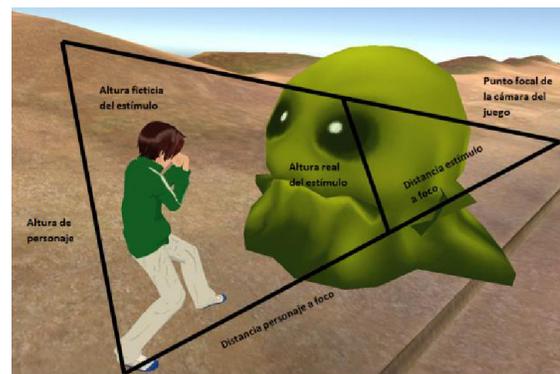


FIGURA 3. Ejemplo de aplicación de proporciones geométricas en la ecuación (1) del tercer videojuego.

La perspectiva geométrica, que está relacionada con el tamaño relativo, fue planteada debido a que en el juego 3D los estímulos se percibían grandes. En ese sentido, planteamos solo 2 escenarios: uno con esa perspectiva geométrica y otro sin dicha perspectiva.

**TABLA 1. Listado de juegos de los experimentos.**

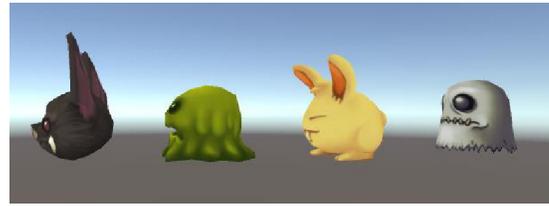
Los 8 primeros corresponden al experimento 2 y los 2 siguientes al experimento 1 como referencia.

N° Juego (J)	
1	2D perspectiva 3D
2	2D sin perspectiva 3D
3	3D con tamaño 2D con cálculo (1) fórmula fórmula
4	3D con tamaño 2D sin cálculo fórmula fórmula
5	FC Distancias 2D
6	FC Distancias tamaño 2D
7	FC Tamaño 2D
8	Rotación Foco Cambiado
9	2D original
10	3D original

### Descripción del experimento

Todos los juegos, tanto del primer como del segundo experimento, tienen la misma premisa. A cada participante se le presentan alrededor de 250 estímulos, siendo 200 estímulos estándares y 50 estímulos falsos. Existen 5 estímulos en total, 4 de ellos estándar (ver Figura 4) y 1 falso (ver Figura 5). Estos estímulos aparecen de forma aleatoria en el juego para evitar patrones que puedan afectar el RT del participante.

Encima de cada estímulo aparece una flecha de dirección, la cual indica la tecla de dirección que se debe presionar. La codificación es la siguiente: arriba para un murciélago, izquierda para el conejo, derecha para el slime y abajo para el fantasma. Para el caso del estímulo falso, se le indicó al participante que en caso apareciera no debe presionar ninguna flecha y dejar que desaparece después de un tiempo programado en el experimento.



**FIGURA 4. Estímulo del tipo Go-Go.**



**FIGURA 4. Estímulo del tipo No-Go.**

Los estímulos estándar están presentes en la pantalla durante un máximo de 3 segundos y, si en ese tiempo no se presiona la tecla correcta, registra como error el evento. El estímulo del tipo No-Go está en la pantalla durante un máximo de 1 segundo, y si se presiona alguna tecla se registra como error. En ambos casos, se registra el RT. Finalmente, el tiempo entre aparición eventos de estímulos es un valor aleatorio entre 0.3 y 1.5 segundos.

### Análisis de los tiempos de reacción

Se configuró Unity para que los datos se almacenen en archivos Excel para cada participante. La información que se registra en el archivo después de terminar el juego es la siguiente: estímulo (murciélago, fantasma, etc.), acierto (verdadero o falso) y RT.

El título del archivo también guarda información, registra la fecha y hora en la cual el participante realizó la prueba. Al final, se consolidó toda la información en un archivo en formato Excel. Asimismo, se registró una encuesta con datos más específicos (estado de ánimo, por ejemplo). Esa información no se analizó en el presente trabajo.

En lo que respecta al análisis estadístico de los datos recolectados de las pruebas, se ha calculado el promedio, desviación estándar y porcentaje de error. Además, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) tomando en cuenta las variables de RT, juegos (o bloques) y estímulos; todo esto con el fin de verificar si hay diferencias significativas entre ambos experimentos. Asimismo, después del ANOVA, se llevó a cabo una posterior prueba HSD de Tukey para revisar cuál media es la mayor. Para finalizar, se tomaron los test de Levene para verificar si hay homogeneidad de varianzas en la data. En el caso de los ANOVA, las pruebas HSD de Tukey y los test de Levene, se utilizó la herramienta R (2017) [13].

## RESULTADOS

### Promedio y desviación estándar de tiempos de reacción por estímulo

En la Tabla 2 se presenta el promedio general y desviación estándar de los tiempos de reacción de los 4 estímulos estándar, siendo todos los valores calculados en milisegundos (ms).

**TABLA 2. Promedio y desviación estándar de RT por estímulo**

Estímulo	Promedio y desviación estándar (ms)
Conejo	569.769 +/- 157.851
Fantasma	596.440 +/- 165.548
Murciélago	598.627 +/- 168.256
Slime	571.575 +/- 166.432

### Porcentaje de error y orden de bloques por participante

En la Tabla 3, se muestra el porcentaje general de errores relacionado a los estímulos estándar y distractor mal reaccionados por cada bloque, siendo cada bloque un juego. Estos resultados muestran que los participantes tuvieron un porcentaje de error acorde

con varios experimentos de atención selectiva que están en el orden del 7.63 al 12-82% que está dentro del rango de los resultados de Green y Bavelier [17].

**TABLA 3. Porcentaje de error de los juegos**

Nº Juego	Porcentaje
1	7.63%
2	12.29%
3	9.41%
4	12.82%
5	9.70%
6	10.23%
7	9.17%
8	9.22%
9	9.79%
10	9.75%

### Promedio y desviación estándar de tiempos de reacción por bloque

Teniendo en consideración la Tabla 1, en la Tabla 4 se presenta el promedio de los tiempos de reacción por bloque (es decir, por cada uno de los juegos empleados en la elaboración de este artículo), además de su desviación estándar. Hay que considerar que los valores que fueron calculados corresponden a los estímulos estándar que fueron arrojados cuando la reacción fue acertada por los participantes, y que se presentan en milisegundos (ms).

En las columnas 3 y 4 se presentan las diferencias de tiempos de reacción entre los bloques del primer y segundo experimento. Los bloques 9 y 10 corresponden al primer experimento, y los bloques del 1 al 8 corresponden al segundo experimento.

Se realizó test de Levene tomados en los datos de la población, siendo dividida en un principio por los juegos o bloques ( $F = 78.45$ ) y en otro test dividida por estímulos ( $F = 11.316$ ) con  $p < 0.001$  en ambos casos que descarta la homogeneidad de varianzas.

**TABLA 4. Promedio de los tiempos de reacción por bloque (juego)**

N° J	RT (ms)	$\Delta$ RT debido a cambio de tamaño de estímulos	ART (ms)
1	+/- 578.874 158.167	bloque 2 contra bloque 9	+/- 67.117 55.091
2	+/- 576.995 172.983	bloque 2 contra bloque 9	+/- 65.238 69.907
3	+/- 610.483 157.437	bloque 3 contra bloque 10	+/- 70.395 54.790
4	+/- 617.813 171.362	bloque 4 contra bloque 10	+/- 77.725 68.715
		<b><math>\Delta</math>RT debido a cambio de ángulo de visualización</b>	
5	+/- 603.362 186.226	bloque 5 contra bloque 10	+/- 63.274 83.579
6	+/- 605.846 177.897	bloque 6 contra bloque 10	+/- 65.758 75.250
7	+/- 596.926 174.935	bloque 7 contra bloque 10	+/- 56.838 72.288
8	+/- 593.791 184.529	bloque 8 contra bloque 10	+/- 53.703 81.882
9	+/- 511.757 103.076		
10	+/- 540.088 102.647		

### ANOVA y prueba HSD de Tukey considerando los bloques

En la Tabla 5, se muestra el análisis ANOVA de los datos recolectados tomando en consideración los bloques relacionados a los juegos 2D y 3D. Del ANOVA podemos observar que hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) al momento de utilizar el factor de los cambios de tamaño y ángulos realizados en los juegos.

Los valores de la prueba Tukey se presentan en la Tabla 6; exceptuando el valor p, se expresan en milisegundos (ms). En los bloques relacionados en 2D, los 3 primeros análisis de Tukey arrojan que hay diferencias significativas cuando se comparan juegos de distintos experimentos, y que no hay mayores diferencias al comparar juegos del mismo experimento en 2D.

En los bloques relacionados a 3D, del análisis Tukey se observan diferencias significativas cuando se comparan juegos de distintos experimentos.

**TABLA 5. ANOVA de bloques 2D y 3D**

	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Valor F	Pr(<F) / Valor p
<b>Bloques relacionados a 2D</b>					
Juegos	2	17.61	8.805	400.72	<0.001
Residuales	18348	403.17	0.220		
<b>Bloques relacionados a 3D</b>					
Juegos	6	24.09	4.015	143.01	<0.001
Residuales	43765	1228.81	0.028		

Sin embargo, en lo que respecta a comparación de juegos del mismo experimento hay casos sin diferencias significativas (J4-J3, J5-J3, J6-J3, J6-J5, J7-J5 y J8-J7) y en la mayor de casos sí (J7-J3, J8-J3, J10-J3, el J4 contra los otros, J8-J5, J10-J5, J7-J6, J8-J6, J10-J6, J10-J7 y J10-J8).

### ANOVA y prueba HSD de Tukey considerando los estímulos

Del ANOVA de los datos considerando los estímulos se obtuvieron diferencias significativas ( $p < 0.001$  @  $F = 138.45$ ) al momento de utilizar el factor de estímulos.

Por otro lado, la Tabla 7 muestra el análisis Tukey, donde se encontró valores significativos para la columna de diferencia (en ms) donde se observa cual media de RT es menor. Se observa que los estímulos de murciélago y fantasma son los estímulos con mayor media de RT, siendo el primero el de mayor media con respecto a todos los estímulos. Los estímulos del slime y el conejo son los de menor RT, siendo el segundo el de menor media en comparación a todos los estímulos. Asimismo, no se encontraron relaciones significativas entre el slime y el conejo junto con el murciélago y fantasma ( $p$  es mayor a 0.05). Considerando junto a la

TABLA 6. Análisis Tukey de bloques 2D y 3D

Estímulos	Diferencia	Valor mínimo	Valor máximo	p
<b>Bloques relacionados a 2D</b>				
J2-J1	-1.879	-8.125	4.367	0.760
J9-J1	-67.031	-73.334	-60.727	<0.0001
J9-J2	-65.151	-71.452	-58.851	<0.0001
<b>Bloques relacionados a 3D</b>				
J4-J3	7.330	-1.493	16.153	0.178
J5-J3	-7.121	-15.903	1.661	0.202
J6-J3	-4.638	-13.456	4.180	0.714
J7-J3	-13.557	-22.387	-4.728	0.00012
J8-J3	-16.692	-25.555	-7.829	<0.0001
J10-J3	-70.399	-79.326	-61.466	<0.0001
J5-J4	-14.451	-23.208	-5.693	<0.0001
J6-J4	-11.968	-20.762	-3.173	0.0012
J7-J4	-20.887	-29.693	-12.081	<0.0001
J8-J4	-24.022	-32.862	-15.182	<0.0001
J10-J4	-77.726	-86.632	-68.81	<0.0001
J6-J5	2.483	-6.270	11.236	0.9812
J7-J5	-6.437	-15.201	2.328	0.3146
J8-J5	-9.571	-18.370	-0.773	0.0227
J10-J5	-63.275	-72.140	-54.409	<0.0001
J7-J6	-8.920	-17.720	-0.119	0.044
J8-J6	-12.054	-20.889	-3.220	0.0011
J10-J6	-65.758	-74.659	-56.857	<0.0001
J8-J7	-3.135	-11.981	5.711	0.9435
J10-J7	-56.838	-65.751	-47.926	<0.0001
J10-J8	-53.703	-62.650	-44.757	<0.0001

Tabla 2, los resultados indican que el murciélago es el estímulo con mayor RT, mientras que el conejo es el estímulo con menor RT.

### ANOVA Two way con bloques y estímulos

Del ANOVA de los datos en la Tabla 8 se observa que en ambos factores hay diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) en el RT tanto en los juegos como en los estímulos para los experimentos en 2D y 3D.

TABLA 7. Análisis Tukey de estímulos.

J: indica el videojuego en análisis.

Estímulos	Diferencia	Valor mínimo	Valor máximo	p
Fantasma ▼ Conejo	26.634	21.832	31.437	<0.0001
Murciélago ▼ Conejo	28.820	24.019	33.621	<0.0001
Slime ▼ Conejo	1.7649	-3.045	6.583	0.781
Murciélago ▼ Fantasma	2.186	-2.596	6.968	0.643
Slime ▼ Fantasma	-24.865	-29.661	-20.070	<0.0001
Slime ▼ Murciélago	-27.051	-31.845	-22.258	<0.0001

TABLA 8. ANOVA Two Way de bloques 3D y estímulos

	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Valor F	Pr(<F) / Valor p
<b>Bloques relacionados a 2D</b>					
Juegos	2	17.61	8.805	403.478	<0.0001
Estímulos	3	2.83	0.942	43.166	<0.0001
Residuales	18345	400.35	0.022		
<b>Bloques relacionados a 3D</b>					
Juegos	6	24.09	4.015	144.13	<0.0001
Estímulos	3	9.68	3.226	115.79	<0.0001
Residuales	43762	1219.13	0.028		

### CONCLUSIONES

En relación con la idea principal de la investigación, la cual es ver los cambios de características en ambientes 2D y 3D y su influencia, los cambios de tamaño y ángulos en los estímulos influyen en el RT de las personas. Específicamente, la presente investigación validó como paradigma experimental 3 estímulos con diferencias significativas (conejo, fantasma y murcié-

lago) y el porcentaje de errores de los juegos (bloques de 7.63 % a 12.82 %). Con respecto al RT por estímulo, se obtuvo que el estímulo estándar del murciélago es el que tiene el mayor RT (598 ms, Tablas 2 y 7) en ambientes 2D y 3D (Tabla 8) sugiriendo que las variaciones entre los ambientes 2D y 3D dependen de los estímulos. El segundo experimento se diseñó para investigar sobre el porqué los ambientes 3D tienen un mayor RT (28,33 ms debido a 540 ms frente a 511 ms, Tabla 4). De esa manera existen diferencias de RT entre los bloques del trabajo, mostrando que los bloques relacionados al cambio de tamaño tienen un RT mayor en comparación a los relacionados con el cambio de ángulo de visualización (Tabla 7, otros bloques vs J3 resultan de 13.6 a 70.4 ms,  $p < 0.00012$ , otros bloques vs J4 resultan de 14.5 a 77 ms,  $p < 0.0012$ ).

Luego, con respecto al porcentaje de errores de los juegos (bloques), el bloque con mayor porcentaje de error es el bloque 4 (3D con tamaño 2D sin cálculo), mientras que el que tiene el menor porcentaje de errores es el bloque 1 (2D percepción 3D). Esta contraparte sugiere también que el 3D es más preciso cuando se le considera un tamaño igual en pixels a 2D y que el 2D es menos preciso cuando se considera un tamaño menor debido a la consideración de percepción 3D.

La limitación del este trabajo ha estado en el número de ensayos realizados por participante, se ha balanceado el número de eventos con el números de bloques distintamente realizados por los participantes, considerando además que la presentación de los 6 bloques debía ser diferente para todos los participantes, no es posible realizar todas las 720 combinaciones posibles

Con base en lo expuesto anteriormente, las conclusiones específicas a mencionar son:

- El estímulo con mayor RT es el murciélago (598.627 +/- 168.256 ms), mientras que el conejo tiene el menor RT (569.769 +/- 157.851 ms).

- Del segundo experimento, el bloque que tiene mayor RT está relacionado al ambiente 3D (bloque N°4 con 617.813 +/- 171.362 ms), mientras que el bloque con menor RT está relacionado al ambiente 2D (bloque 2 con 576.995 +/- 172.983 ms). Todo esto demuestra que la gente reacciona más rápido a los ambientes 2D que a 3D.

## DISCUSIÓN GENERAL

Como se ha dicho, el aporte de este trabajo está en cómo el ángulo de la cámara y en menor medida el tamaño de acuerdo con la perspectiva geométrica cambia el tiempo de reacción de los participantes tanto en 2D como en 3D en videojuegos, llegando hasta 77 ms ( $p < 0.0001$ ) en 3D. Entre las posibles extensiones del presente estudio se pueden mencionar:

1. No se emplearon patrones audiovisuales, donde típicamente se cuestionaban los efectos de audio sobre imagen (e.g. <sup>[20]</sup>), y donde actualmente se vienen estudiando los efectos de imagen sobre audio <sup>[21]</sup>, lo cual hubiese complicado el análisis estadístico del presente experimento. A la luz de los resultados, habría que reducir uno de los tipos de estímulos y 2 de los 8 bloques del presente estudio para un estudio piloto.
2. El empleo de realidad aumentada (AR) para extender los hallazgos del presente experimento en el tamaño y ángulo de la cámara. Para ello se puede emplear una combinación de herramientas ARToolKit, Visual Studio C++, 3D Max y Adobe Illustrator <sup>[23]</sup>, siendo otra opción emplear Unity 3D <sup>[12]</sup> que permite incluso integrar en la Internet <sup>[18]</sup>. De esta manera, para evaluar el cambio de la respuesta del ser humano ante 3 condiciones perceptuales distintas 2D, 3D y AR, al momento de cambiar los estímulos, las personas no necesariamente tendrán el mismo nivel de atención que antes del tipo estímulo en el mismo u otro diferente escenario (2D, 3D, AR).

3. En el neuromarketing según Prnewswire, se busca evaluar el cambio la publicidad que se tiene, pues al momento de cambiarla las personas no tendrán el mismo nivel de atención que antes pudo existir <sup>[3]</sup>. En los 90s la naturaleza selectiva de comunicación de marketing y elección del consumidor donde se evidenció el elevado recuerdo y reconocimiento de un los "empleados amistosos" <sup>[14]</sup>, es decir la localización de ellos fue importante para la atención y la elección que se relaciona con el resultado obtenido sobre los menores tiempos de reacción y la visualización en 3D. Por otro lado, estudios recientes con EEG muestran que el nivel de atención a los elementos colocados que atraen más la atención evoca los componentes P300 <sup>[15]</sup>. Con ello, considerando que los modelos lineales de EEG se encuentran en paradigmas visuales y auditivos <sup>[8]</sup>, el presente estudio podría extenderse al evaluarse con EEG y modelos lineales para evaluar la consistencia de la presentación de los cambios en 2D y 3D los estímulos presentados.
4. En deportes, para la explicación de tácticas a través de proyecciones Subramanyam encontró la diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de reacción visual y el control de atención <sup>[4]</sup>, por ello la presente investigación añade que es necesario considerar el impacto de hacer algún cambio a la proyección o perspectiva geométrica. Asimismo, Lee y colegas testearon el RT de deportistas ante videos en 2D y 3D que simulan a un oponente acercándose a los participantes que

tenían que bloquear <sup>[16]</sup>. El experimento concluyó que el RT era igual con respecto a los dos tipos 2D y 3D, que es diferente de nuestro caso porque la perspectiva está desde el personaje en la pantalla y no desde el participante. Además, se podría extender los estudios de Kida <sup>[27]</sup> y Nakamoto <sup>[26]</sup> con los cambios en 2D y 3D que se ha trabajado en este trabajo.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto de Investigación Científica por financiar el Proyecto "Testeo de electrofisiología cognitiva de atención humana adaptado a una realidad aumentada" (2016-2017). Así como al apoyo del Instituto de Investigación de la UNTELS por financiar el proyecto "Estudio de comportamiento ocular ante sismo: escenario simulado mediante realidad aumentada, ver Resolución de Comisión Organizadora N 230-2017-UNTELS." (2017-2019).

Se agradece a Víctor Flores Benites por la sugerencia de considerar el ángulo de la cámara como una propiedad de presentación de los estímulos. Y al aliento de los profesores Rosario Guzmán, Erich Saettone y Juan Gutiérrez para continuar el análisis de experimentos.

El análisis original del primer experimento fue la sustentación de tesis de los 2 primeros autores bajo el título "Experimento de medición de tiempos de reacción del cerebro humano frente a estímulos 2d y 3d para estudios de atención". El segundo experimento fue propuesto posteriormente.

## REFERENCIAS

- [1] Estévez-González A, García-Sánchez C, Junqué C. La atención: una compleja función cerebral. *Rev Neurol* 1997; 25 (148):1989-1997
- [2] Ward, A. (2004). *Attention: A Neuropsychological Approach*. Psychology.
- [3] PRNewswire [Internet] Neuromarketing technologies: Global markets. (2016, Aug 01, Accesado el 2018, Enero 8). Disponible en: <https://www.prnewswire.com/news-releases/neuromarketing-technologies-global-markets-300340992.html>
- [4] Subramanyam V, Jamuna D, Kalavathi P. A study of reaction time and attention control among athletes of sports training centers of sports authority of India. *International Journal of Sports Sciences & Fitness*. 2016 Jul 1;6(2).
- [5] Yilmaz, G., Ungan, P., Sebik, O., et al. (2014). Interference of tonic muscle activity on the EEG: a single motor unit study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 504. DOI: [10.3389/fnhum.2014.00504](https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00504)
- [6] Ting, S., Tan, T., West, et al. (2011, November). Quantitative assessment of 2D versus 3D visualisation modalities. In *Visual Communications and Image Processing (VCIP)*, 2011 IEEE (pp. 1-4). IEEE. DOI: [10.1109/vcip.2011.6115908](https://doi.org/10.1109/vcip.2011.6115908)
- [7] Mugruza-Vassallo, CA. EEG and fMRI studies of the effects of stimulus properties on the control of attention. PhD diss., Doctoral dissertation. University of Dundee, 2015.
- [8] Mugruza-Vassallo C. Different regressors for linear modelling of ElectroEncephaloGraphic recordings in visual and auditory tasks. In *Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*, 2016 IEEE 13th International Conference on 2016 Jun 14 (pp. 260-265). IEEE. DOI: [10.1109/BSN.2016.7516270](https://doi.org/10.1109/BSN.2016.7516270)
- [9] 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](https://doi.org/10.1016/j.nut.2010.08.003)
- [10] Tamm, L., Narad, M. E., Antonini, T. N., et al. (2012). Reaction time variability in ADHD: A review. *Neurotherapeutics*, 9(3), 500-8. DOI: [10.1007/s13311-012-0138-5](https://doi.org/10.1007/s13311-012-0138-5)
- [11] Donders, F. (1969). On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, 412-431. DOI: [10.1016/0001-6918\(69\)90065-1](https://doi.org/10.1016/0001-6918(69)90065-1)
- [12] Unity - Game Engine. 2013. Unity - Game Engine. Available at: <http://unity3d.com>. Accesado desde 2016.
- [13] R Foundation [Internet]. (Accesado, 2017 abril). The R Project for Statistical Computing. Obtenido de: <https://www.r-project.org/>
- [14] Ratneshwar S, Warlop L, Mick DG, Seeger G. Benefit salience and consumers' selective attention to product features. *International Journal of Research in Marketing*. 1997 Jul 1;14(3):245-59. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8116\(97\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8116(97)00007-4)
- [15] Pozharliev R, Verbeke WJ, Van Strien JW, Bagozzi RP. Merely being with you increases my attention to luxury products: Using EEG to understand consumers' emotional experience with luxury branded products. *Journal of Marketing Research*. 2015 Aug;52(4):546-58. DOI: <https://doi.org/10.1509/jmr.13.0560>
- [16] Lee, M. J. C., Tidman, S. J., Lay, B. S., Bourke, et al. (2013). Visual search differs but not reaction time when intercepting a 3D versus 2D videoed opponent. *Journal of Motor Behavior*, 45(2), 107. DOI: <https://doi.org/10.1080/00222895.2012.760512>
- [17] Green, C. Shawn & Bavelier Daphne. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature* volume 423, pages 534-537. DOI: [10.1038/nature01647](https://doi.org/10.1038/nature01647)
- [18] Katz N, Cook T, Smart R. Extending web browsers with a unity 3d-based virtual worlds viewer. *IEEE Internet Computing*. 2011 Sep;15(5):15-21. DOI: [10.1109/MIC.2011.74](https://doi.org/10.1109/MIC.2011.74)
- [19] St. John M, Cowen MB, Smallman HS, Oonk HM. The use of 2D and 3D displays for shape-understanding versus relative-position tasks. *Human Factors*. 2001 Mar; 43(1):79-98. DOI: <https://doi.org/10.1518/001872001775992534>
- [20] Tiitinen H, May P, Reinikainen K, Näätänen R. Attentive novelty detection in humans is governed by pre-attentive sensory memory. *Nature*. 1994 Nov;372(6501):90. DOI: [10.1109/TIT.1954.1057462](https://doi.org/10.1109/TIT.1954.1057462)
- [21] Cordova-Berrios, Mugruza-Vassallo, Flores-Benites (2018). Missed signals in the congruency between visual distracting cues and auditory goals. *Information Communication and Management Proceedings*. 2018 (in press)
- [22] Tanner W, Norman R. The human use of information--II: Signal detection for the case of an unknown signal parameter. *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory*. 1954 Sep;4(4):222-7. DOI: [10.1109/TIT.1954.1057462](https://doi.org/10.1109/TIT.1954.1057462)
- [23] Chen CH, Ho CH, Lin JB. The development of an augmented reality game-based learning environment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2015 Feb 12;174:216-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.649>
- [24] Pop MC, Radomir L, Maniu AI, Zaharie MM, Scridon AM. Strengthening Bank Market Presence By Monitoring Clients' Satisfaction With Distribution Channels. *Interdisciplinary Management Research*. 2010;6:764-75.
- [25] Keller KL, Apéria T, Georgson M. *Strategic brand management: A European perspective*. Pearson Education; 2008.
- [26] Nakamoto H, Mori S. Sport-specific decision-making in a Go/No-Go reaction task: difference among nonathletes and baseball and basketball players. *Perceptual and motor skills*. 2008 Feb;106(1):163-70. DOI: <https://doi.org/10.2466/pms.106.1.163-170>
- [27] Kida N, Oda S, Matsumura M. Intensive baseball practice improves the Go/No-Go reaction time, but not the simple reaction time. *Cognitive brain research*. 2005 Feb 1;22(2):257-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.09.003>
- [28] Omega. Placa PCI en "High Speed, 16-Bit, 64 Channel Analog Input Board with Analog Outputs and Digital I/O for the PCI Bus", accesado en 2017, <https://www.omega.com/pptst/PCI-DAS6402.html>
- [29] Logicbus. Tabla de circuitos en "SCB-50", accesado en 2017, [http://tienda.logicbus.com.mx/SCB-50\\_p\\_3059.html](http://tienda.logicbus.com.mx/SCB-50_p_3059.html)
- [30] Donchin, E., Ritter, W., & McCallum, W. C. (1978). Cognitive Psychophysiology: the Endogenous Components of the Erp. *Event-Related Brain Potentials in Man*. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-155150-6.50019-5>
- [31] Mugruza Vassallo, C.A & Potter, D.D. (2019). Context Dependence Signature, Stimulus Properties and Stimulus Probability as Predictors of ERP Amplitude Variability. *Front. Hum. Neurosci*. DOI: [doi: 10.3389/fnhum.2019.00039](https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00039)