

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN APLICADAS A LA EDUCACIÓN

USO DE LA REALIDAD VIRTUAL PARA MEJORAR HABILIDADES MOTORAS
REALES DE FÚTBOL

Bogotá D.C. 2021

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN APLICADAS A LA EDUCACIÓN

USO DE LA REALIDAD VIRTUAL PARA MEJORAR HABILIDADES MOTORAS
REALES DE FÚTBOL

Tesis para optar por el título de Maestría

presentada por

Álvaro Marcel Lozano Tarazona

Dirigida por

MEng. Diego Mauricio Rivera Pinzón

Bogotá D.C. 2021

Derechos de autor

“Para todos los efectos, declaro que el presente trabajo es original y de mi total autoría; en aquellos casos en los cuales he requerido del trabajo de otros autores o investigadores, he dado los respectivos créditos”. (Artículo 42, parágrafo 2, del Acuerdo 031 del 4 de diciembre de 2007 del Consejo Superior de la Universidad Pedagógica Nacional)

Este trabajo de grado se encuentra bajo una Licencia Creative Commons de Reconocimiento – No comercial – Compartir igual, por lo que puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.



DEDICATORIA

Para mi mamá, que me enseñó a ser fuerte y siempre buscar soluciones.

Para mi papá, que me enseñó a ser dedicado y siempre estar para los otros.

Para mi novia, que me enseñó a ser observador y ver más allá.

Para mi gato, que me da la felicidad de consentirlo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al profesor Diego Rivera por su paciencia y sabiduría durante estos dos años de investigación conjunta. Lo he disfrutado bastante. Para mí es un sueño hecho realidad el poder combinar mis pasiones: la educación, la tecnología y el fútbol.

Agradezco a los profesores de la Maestría y Universidad por sus enseñanzas, ya que contribuyeron en la realización de esta investigación.

Agradezco a la institución, incluido los directores, maestros, y estudiantes que participaron en el estudio, así como a los expertos en deportes que hicieron posible esta investigación, Francisco Salamanca, Robinson Granados, y Diana Herrera.

INDICE

Introducción	10
1. Capítulo I Presentación de la investigación	12
1.1. Justificación de la investigación.....	12
1.2. Propósito de la investigación.....	13
1.3. Preguntas de investigación	13
1.4. Objetivos de la investigación	14
1.4.1. Objetivo general.....	14
1.4.2. Objetivos específicos	14
2. Capítulo II Antecedentes y marco teórico	16
2.1. VR y la transferencia de habilidades deportivas	16
2.2. VR y fútbol.....	21
3. Capítulo III Método	26
3.1. Diseño y procedimiento	26
3.2. Selección de participantes	26
3.3. Pre-test y Pos-test.....	27
3.4. Grupo VR con diseño propio	30
3.4.1. Principios de diseño	30
3.4.2. Estrategias de implementación	32
3.4.3. Prototipo.....	33
3.5. Grupo VR con diseño externo.....	46

3.6.	Análisis de datos.....	48
4.	Capítulo IV Resultados	50
4.1.	Cabeceo frontal estático (POS-Ejer1)	50
4.2.	Cabeceo diagonal en carrera (POS-Ejer2)	51
5.	Capítulo V Discusión.....	53
5.1.	La realidad virtual ayuda a superar el temor del cabeceo en fútbol.....	53
5.2.	Habilidades deportivas transversales	55
5.3.	Aprendizaje motor por observación	56
5.4.	Implicaciones teóricas y prácticas.....	57
5.5.	Direcciones futuras.....	58
	Referencias.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Promedio (desviación estándar) de las características de los participantes.	27
Tabla 2 Promedios (desviación estándar) del desempeño de los grupos de entrenamiento.	50
Tabla 3 Porcentaje de balones cabeceados de los grupos de entrenamiento.	54
Tabla 4 Promedio (desviación estándar) del desempeño diferenciados por experticia deportiva.	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Las fases del procedimiento	26
Figura 2 Cancha de fútbol donde se realizó el Pre-test y Pos-test.	29
Figura 3 Entrenamiento VR en el teatro cubierto de la institución.	34
Figura 4 Vista superior del escenario virtual del prototipo.	35
Figura 5 Menú de la interfaz del prototipo y accionar de un botón.	36
Figura 6 Primer momento del calentamiento del prototipo, balones estáticos.	37
Figura 7 Puntajes que otorga cada área del ejercicio uno del prototipo.	38
Figura 8 Lanzamiento animado del balón en el prototipo.	39
Figura 9 Momento en el que ingresa un balón al arco en el prototipo.	39
Figura 10 Imagen del video referente que se usó para calibrar las físicas del prototipo.	41
Figura 11 Áreas de los marcadores en niveles de dificultad fácil y difícil, respectivamente.	42
Figura 12 Retroalimentación del puntaje y ranking de un ejercicio en el prototipo.	44
Figura 13 Reproducción 3D de las trayectos de los cabezazos en el prototipo.	45
Figura 14 Panel con video de retroalimentación mostrado en el prototipo.	46
Figura 15 Ejercicio de cabeceo de la aplicación VR con diseño externo.	47
Figura 16 Retroalimentación de la aplicación VR con diseño externo.	48
Figura 17 Efecto de los entrenamientos en el cabeceo frontal estático.	51
Figura 18 Efecto de los entrenamientos en el cabeceo diagonal en carrera.	52
Figura 19 Temor de los estudiantes al cabecear el balón de fútbol.	54
Figura 20 Diferencia de técnica de cabeceo entre los dos ambientes de entrenamiento VR.	57

Introducción

Este estudio investigó la transferencia de la habilidad motora de cabeceo en fútbol del entrenamiento deportivo en Realidad Virtual (VR) al mundo real. 61 niños (37 mujeres) entre 9 y 11 años fueron distribuidos en tres grupos: un grupo control sin entrenamiento, otro grupo que se entrenó en un ambiente VR propio, y un grupo que se entrenó en un ambiente VR externo. Teniendo en cuenta la evidencia disponible, se identificaron unos principios de diseño que se implementaron en el ambiente propio para lograr una mayor efectividad de transferencia. Después del Pre-test y Pos-test, los resultados mostraron que los grupos entrenados aumentaron de manera significativa su habilidad de cabeceo en comparación con el grupo control. Además, el grupo entrenado en el ambiente propio demostró desempeños superiores al del ambiente externo, lo cual se atribuye al elemento de diseño de progresión psico-pedagógica desarrollado. También, se encontró que la VR es una herramienta eficaz para superar el miedo inicial que existe al cabecear, y que los participantes que tenían experticia deportiva tuvieron mejores resultados que los que no. En general, este estudio aporta evidencia a la transferencia de habilidades motoras deportivas usando ambientes de entrenamiento en gafas de realidad virtual, haciendo énfasis en los elementos de diseño que pueden aportar en mayor medida a que la transferencia sea positiva.

Este documento cuenta con cinco capítulos. En el primero se realiza la presentación del estudio por medio de la justificación, propósito y preguntas de investigación. El segundo capítulo está dedicado a los antecedentes y marco teórico de los conceptos más importantes que enmarcan la investigación: realidad virtual, transferencia de habilidades deportivas, y fútbol. En el tercer capítulo se explica todos los elementos que se incluyeron en la metodología de investigación: población estudiada, instrumento de evaluación, y ambientes de entrenamiento. Se hace énfasis

en los principios teóricos que guiaron el diseño del prototipo desarrollado. El cuarto capítulo corresponde a los resultados, en el cual se muestra en detalle los datos derivados del análisis MANCOVA que se realizó. Finalmente, en el capítulo cinco se presenta la discusión y las direcciones futuras de la investigación.

Capítulo I

Presentación de la investigación

1.1. Justificación de la investigación

El escritor Malcolm Gladwell escribió en su libro ‘Por qué unas personas tienen éxito y otras no’ una regla que dice que son necesarias 10.000 horas de práctica de una habilidad para ser un experto. Esta regla es debatible porque también inciden otros factores, no obstante si se relaciona con principios de aprendizaje y memoria procedimental: la adquisición de procedimientos con un alto componente motor requiere de la ejecución repetida (Soriano Mas, 2007). Sin embargo, en algunos casos la repetición del procedimiento puede llegar a ser complicada, como por ejemplo cuando es peligrosa, costosa o difícil de organizar. En estos casos, la realidad virtual (VR) ha generado interés como una herramienta clave para entrenar habilidades del mundo real debido al realismo y la flexibilidad que puede ofrecer (Michalski, Szpak, Saredakis, et al., 2019).

La realidad virtual es un entorno digital inmersivo donde los usuarios pueden interactuar como si estuvieran presentes en un entorno real (Jerald, 2015). En programas de entrenamiento donde es necesario una alta habilidad motora, como por ejemplo los cirujanos (González Izard et al., 2017), pilotos de aviación (Pennington et al., 2019), bomberos (Vega et al., 2017), y militares (Bhagat et al., 2016) se está aprovechando al máximo la tecnología de realidad virtual, lo cual se demuestra con múltiples investigaciones sobre el tema. Sin embargo, en el área deportiva existe poca evidencia experimental sobre la transferencia de habilidades motoras del mundo virtual al mundo real.

Michalski, Szpak, & Loetscher (2019) realizaron una revisión exhaustiva de artículos indexados sobre realidad virtual, deportes y transferencia de entrenamiento, obteniendo

solamente cuatro artículos, en los últimos veintidós años, en donde se hicieron evaluaciones sistemáticas de la transferencia de habilidades (los deportes evaluados fueron: tenis de mesa, lanzamiento de dardos, canotaje y béisbol). Resulta llamativo que el deporte más popular del mundo, el fútbol, con 250 millones de jugadores profesionales y amateurs registrados a nivel mundial, y 1400 millones de personas que siguen el deporte (Giulianotti & Robertson, 2004), no tiene en la literatura una evaluación sistemática de la transferencia de habilidades motoras.

Esta investigación fue motivada por la posibilidad de que la tecnología de realidad virtual pueda ser un complemento en el aprendizaje de habilidades motoras de fútbol cuando las condiciones de organización son difíciles de conseguir, como por ejemplo cuando no se tiene con quien practicar o no se cuenta con un espacio físico adecuado.

1.2. Propósito de la investigación

En esta investigación se evaluó la transferencia al mundo real de la habilidad de cabeceo en fútbol cuando se entrena en gafas de realidad virtual. Este estudio cuenta con grupo control y una prueba estandarizada para evaluar la habilidad de cabeceo. Los grupos de entrenamiento se dividieron en dos: VR con diseño propio y VR con diseño externo. Cada grupo de entrenamiento cuenta con un ambiente virtual inmersivo con elementos de diseño propios, los cuales pueden llegar a generar resultados diferentes. Esta división brindará mayor información a la comprensión de la transferencia en ambientes virtuales inmersivos.

1.3. Preguntas de investigación

La investigación busca responder tres preguntas específicas:

- ¿Qué tan efectivo es un entrenamiento en realidad virtual con diseño propio para transferir habilidades motoras de cabeceo al mundo real?
- ¿Qué tan efectivo es un entrenamiento en realidad virtual con diseño externo para transferir habilidades motoras de cabeceo al mundo real?
- ¿Existen diferencias significativas entre los grupos de entrenamiento con realidad virtual (VR con diseño propio y VR con diseño externo)?

Los resultados de la investigación permitirían responder la cuestión principal de si las gafas de realidad virtual pueden ser un apoyo para el entrenamiento de habilidades motoras de fútbol.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Analizar los efectos de transferencia del entrenamiento en realidad virtual de la habilidad de cabecear en fútbol al mundo real.

1.4.2. Objetivos específicos

- Proponer estrategias de diseño para ambientes altamente inmersivos con base en principios identificados en la literatura sobre transferencia de habilidades motoras desde ambientes virtuales a ambientes reales.
- Diseñar y desarrollar una experiencia de realidad virtual para unas gafas autónomas que contenga actividades diseñadas para el aprendizaje de la habilidad de cabecear en fútbol.
- Evaluar y analizar el desempeño de la habilidad de cabecear en fútbol usando una batería de prueba entre tres grupos diferentes: un grupo que se entrena con el

desarrollo propio, otro grupo que se entrena con un desarrollo externo, y un último grupo de control sin entrenamiento.

Capítulo II

Antecedentes y marco teórico

2.1. VR y la transferencia de habilidades deportivas

La transferencia es el proceso mediante el cual las habilidades y conocimientos desarrollados a través de la capacitación se aplican en una situación o tarea del mundo real (Baldwin & Ford, 1988). La capacitación es un proceso que se transforma en el tiempo debido a múltiples factores, como por ejemplo cuando hay una nueva metodología o tecnología que se quiere utilizar. Al haber un nuevo elemento en la capacitación es necesario probar nuevamente la capacidad de transferencia que pueda tener al mundo real. Debido a la digitalización de la información, en los últimos 30 años se ha investigado fuertemente la capacidad de las tecnologías de la información para transferir conocimiento. En educación, es muy común encontrar investigaciones donde se comparan las capacidades de transferencia de los formatos de información, como por ejemplo imágenes, videos, o contenido 360.

Para que la realidad virtual sea considerada una herramienta válida para entrenar habilidades motoras en deportes, se debe demostrar que el entrenamiento en esos dispositivos se transfiere al mundo real de manera positiva, es decir, hay un mejoramiento en la habilidad. En las revisiones sistemáticas sobre entrenamiento deportivo en realidad virtual, se encuentra que en los últimos diez años ha habido un aumento de investigaciones sobre el tema pero con resultados no concluyentes, dado a su falta de ensayos de control aleatorios bien diseñados que demuestren una transferencia al mundo real de la habilidad motora entrenada (Akbaş et al., 2019; Michalski, Szpak, & Loetscher, 2019). La mayoría de investigaciones que se encuentran son pruebas de concepto con un grupo reducido, donde se limitan a evaluar cualitativamente los simuladores de realidad virtual y no hay una evaluación cuantitativa de la habilidad entrenada en la realidad.

Las pocas investigaciones que cuentan con los criterios experimentales para demostrar transferencia se han realizado en distintos tipos de realidad virtual, porque el concepto ha cambiado durante los últimos cuarenta años debido a los avances tecnológicos que han sucedido en este periodo de tiempo. A finales del siglo XX, se consideraba a la realidad virtual como los mundos digitales que se podían ver en un monitor convencional (Checa & Bustillo, 2020). Uno de los mayores exponentes de este tipo de realidad virtual es la aplicación Second Life. Este mundo virtual llamó la atención porque su simulación del mundo real era masiva. Por ejemplo, había tiendas de marcas reales donde se podía trabajar y recibir pagos, como si fuera el mundo real. Es enganchador ver representaciones de objetos reales a través de la pantalla de un computador, así no sea muy grande el campo visual estimulado.

Precisamente Todorov et al. (1997) puso a sus participantes enfrente de una pantalla de computador que simulaba el golpe de una raqueta de tenis de mesa, considerando a esto como entrenamiento en entornos virtuales. Esta es una de las primeras investigaciones de transferencia de habilidades motoras al mundo real desde lo virtual. Los resultados demostraron que el grupo entrenado con la pantalla del computador obtuvieron mejores desempeños que el grupo que se entrenó con un entrenador real. A pesar de las limitaciones tecnológicas para simular de manera precisa el golpe con una raqueta de tenis de mesa a una pelota, este experimento fue pionero en el uso de mundos virtuales para la transferencia de habilidades. Además, implementó un diseño experimental riguroso para evaluar de manera objetiva las habilidades transferidas.

La realidad virtual en pantallas planas sería categorizada como ‘baja-inmersión’ porque en la primera década del siglo XXI aparecerían dos dispositivos que se considerarían de ‘alta-inmersión’: los entornos virtuales automáticos de cueva (CAVE) y las pantallas montadas en la cabeza (HMD). Los dispositivos CAVE y HMD se caracterizan porque rodean todo el campo

visual de la persona con la proyección de las imágenes digitales, logrando una mayor inmersión (Bowman & McMahan, 2007). Las CAVE hacen uso de pantallas gigantes o de proyectores que son dispuestos en los tres ángulos de visión. Los HMD se valen de los avances en los celulares y utilizan pantallas compactas para proyectar en ellas imágenes digitales. Las cuevas dominaron en primera instancia en comparación con las HMD, porque era más sencillo implementar experiencias en estos ambientes virtuales, además que también generaban mejores sensaciones.

Por ejemplo, la investigación de Rauter et al. (2013) se llevó a cabo en una cueva de pantallas que proyectaban lo que ve un remero a su derecha, izquierda y frente visual mientras se entrena en la coordinación de sus movimientos al remar. El entrenamiento en esta investigación generó una transferencia negativa al mundo real: los participantes empeoraron sus desempeños después de haberse entrenado. Esto se le atribuye a que el entorno virtual recreó de manera poco fiable las sensaciones físicas que producen remar. Entrenar en entornos que no son fieles a las características propias de la habilidad motora que se quiere aprender, es una causa de malos aprendizajes. Aprender un habilidad motora deportiva con mala técnica lleva a mejorar en ese movimiento en particular, sin embargo se obtendrán resultados inferiores cuando se compare con individuos que si realizan el movimiento con la técnica correcta.

Un caso donde se usó CAVE y se obtuvo transferencia positiva es el de la investigación sobre beisbol de Gray (2017). En este estudio se diseñó una experimentación con un grupo control, un grupo que se entrenó en realidad, un grupo que se entrenó en el ambiente de realidad virtual, y por último un grupo que entrenó en un ambiente virtual adaptativo. Los resultados de las evaluaciones mostraron que los grupos entrenados en realidad virtual tuvieron mejores desempeños en comparación con los otros grupos. La CAVE implementada fue una pantalla gigante que se puso al frente del participante, la cual proyectaba un bola de beisbol, un lanzador,

y un campo de juego. El usuario tenía un bate de beisbol real con unos sensores especiales que le permitía batear la bola que se proyectaba en la pantalla gigante.

Sin embargo, son los HMD los que se han apoderado del concepto de realidad virtual en los últimos cinco años debido a su popularidad en las personas por su bajo coste de adquisición y su comodidad de uso, proyectando que su mercado tendrá un valor de más de \$ 33 mil millones de dólares para el año 2022 (Bird, 2020). El mejoramiento de las pantallas y la reducción en los costos de producción llevó a que en el año 2016 compañías como Oculus, HTC, Sony, Google y Samsung sacaran al mercado sus gafas de realidad virtual, impulsando a esta tecnología como una más en el entretenimiento del hogar. Estas gafas están más presentes en la población promedio, lo cual genera una gran cantidad de venta de contenido, y esto a su vez ocasiona que más desarrolladores enfoquen sus esfuerzos en este dispositivo.

¿Pero de qué se compone unas gafas de realidad virtual para que tenga el impacto que está teniendo? Este dispositivo contiene una pantalla frente a los ojos con una separación de alrededor de cinco centímetros, por lo que en el medio existen unos lentes especiales que le posibilitan al usuario ver imágenes digitales que proyecta la pantalla con nitidez. Además, estas imágenes son estereoscópicas las cuales proporcionan importantes fuentes de información perceptiva para la profundidad y el movimiento (Gray, 2019). En general, la pantalla y los lentes están encapsulados dentro de una estructura que contiene sensores que rastrean constantemente los movimientos de la cabeza del usuario y alteran el entorno virtual en consecuencia (Bird, 2020). Además, casi siempre vienen acompañadas de controles para las manos que también se rastrean espacialmente, y que permiten interactuar con el mundo virtual de una manera más inmersiva.

Los HMD se dividen en dos categorías: las gafas autónomas, los cuales no necesitan estar conectadas a otro dispositivo para funcionar, y las gafas atadas, las cuales necesitan de sensores externos y cables a otros dispositivos para lograr su correcto funcionamiento. Las gafas atadas, al ser más robustas, tienen un mejor desempeño de imagen y detección en comparación con las autónomas. Sin embargo, gafas autónomas como el Oculus Quest, lanzado al mercado el 21 de mayo del 2019, se posicionan como el futuro de estos dispositivos al tener un bajo costo y ser de fácil manipulación. El avance anual de los procesadores en los celulares impacta directamente a las gafas autónomas porque utilizan este componente para funcionar. Se proyecta una producción en masa cada vez mayor de estos dispositivos debido a la idea de Metaverso que tiene Facebook, dueño de Oculus.

La única investigación con rigurosidad experimental sobre transferencia de habilidades deportivas utilizando HMD es la de Michalski, Szpak, Saredakis, et al. (2019) sobre tenis de mesa, la cual tuvo una transferencia positiva al mundo real. En este estudio se utilizó un grupo control que no se entrenó, y un grupo que se entrenó en realidad virtual con la aplicación 'Eleven: Table Tennis VR' que se encuentra en la tienda de aplicaciones. Al no existir una prueba estandarizada sobre habilidades motoras de tenis de mesa, un experto en ese deporte diseñó una prueba cuantitativa y cualitativa. La población utilizada fue estudiantes universitarios que tenían un nivel bajo de habilidades en tenis de mesa. Se considera a esta investigación como pionera y referente sobre la demostración de transferencias de habilidades motoras desde gafas de realidad virtual al mundo real.

2.2. VR y fútbol

Una gran cantidad de investigaciones que se encuentran respecto al fútbol y la realidad virtual tienen que ver con el análisis técnico de los movimientos motores del participante durante la simulación de una acción concreta. Por ejemplo, McLeod et al. (2008) llevaron a cabo un estudio donde analizaron los movimientos que hace un futbolista a la hora de cabecear un balón. Utilizando unas gafas que proyectaban imágenes, unos sensores de movimiento en la cabeza, y un computador, lograron analizar la manera en que los jugadores interceptan el balón en el aire cuando lo van a cabecear. Los resultados mostraron que los participantes hacen uso de expectativas, memorias y patrones de movimiento durante la acción de cabeceo.

La FIFA (Fédération Internationale de Football Association) (2016) considera a la habilidad de cabeceo como una habilidad indispensable del juego. Además, la ubica como una de las habilidades técnicas básicas del deporte ya que complementa eficazmente el juego con los pies. Cabecear consiste en propulsar el balón utilizando la frente, teniendo como objetivo el realizar un pase, tirar al arco, recibir o despejar el balón (LA84 Foundation, 2016). Cabecear es una técnica importante porque en general el 30% del juego se realiza en el aire. El fundamento técnico de esta habilidad motora consiste en la dirección y pase del balón con la cabeza (Borbón, 2013). Precisamente, es una de las habilidades que mayor investigación en realidad virtual ha generado.

Otro tema de interés que se ha investigado en realidad virtual y fútbol es el efecto que tiene las bolas con comba en la percepción de los jugadores. Craig et al. (2011) llevaron a cabo una investigación con unas gafas de realidad virtual y una tableta gráfica, en la que colocaban a sus participantes a capturar una pelota que venía girando en su movimiento hacia el arco. Efectivamente, los balones curvados generan mayores errores de percepción en los participantes

por lo que ocasionó menores balones interceptados. La dirección del rumbo de la bola ayuda a predecir el destino final que esta tendrá cuando se desea interceptar. La interceptación depende del control prospectivo del movimiento donde la percepción informa las decisiones sobre cuándo y cómo actuar.

Hoinville et al. (2011) también llevaron a cabo una investigación de la percepción-acción necesaria para cabecear balones de fútbol que tienen comba, haciendo una diferencia entre expertos y novatos. En esta ocasión, se usó una proyección de imágenes 3D enfrente del participante y se utilizaron unas gafas especiales que permitían hacer seguimiento a la cabeza durante el cabeceo. De manera consistente a estudios anteriores, los balones con comba en el aire son más difíciles de cabecear para los dos niveles de experticia. Sin embargo, si hubo diferencias ya que los expertos se desempeñaron de mejor manera que los novatos a la hora de cabecear. Los anteriores estudios se caracterizan por enfocarse en el comportamiento físico de la cabeza y pelota.

La psicología deportiva es un tema que también ha sido explorado en realidad virtual y fútbol. Stinson & Bowman (2014) llevaron a cabo una investigación en realidad virtual, en la que encontraron que esta tecnología es capaz de generar ansiedad en los deportistas en situaciones de alta presión, como tapar un penalti. En el procedimiento usaron una CAVE como escenario inmersivo y utilizaron unas gafas que contaban con un sensor de seguimiento que en tiempo real decía la posición del participante. Aspectos de diseño como la fidelidad de la simulación y el carácter aleatorio de los penaltis estuvieron relacionados con los niveles de ansiedad que demostraban los participantes. Cabe resaltar que la mayoría de las investigaciones dentro del 2005 y 2015 sucedieron en dispositivos de cuevas, esto se debe a que las HMD aún estaban en fase de prueba y desarrollo porque causaban incomodidad a la hora de usarse.

Estos resultados se relacionan a los de Gulec et al. (2019) los cuales obtuvieron que la realidad virtual generó un alto grado de inmersión en las situaciones estresantes que viven los árbitros durante un juego de fútbol, destacando el punto de vista de primera persona que tiene la tecnología. Esta investigación resulta interesante porque comparó los formatos de una pantalla plana de un computador con la experiencia de vivir el escenario inmersivo en unas gafas de realidad virtual. Los participantes reportaron mayores índices de sentido de presencialidad en los HMD, lo que significa que estuvieron más inmersos en el escenario. Resulta interesante como lo que se consideraba realidad virtual a principio de siglo, mundos digitales en pantallas de computador, ahora cede su posición a un dispositivo que desde 2015 domina las investigaciones en realidad virtual, los HMD.

Las dos investigaciones sugieren que los ambientes virtuales pueden ser usados como herramienta de entrenamiento, aunque no se conocen investigaciones rigurosas donde se demuestre la transferencia de habilidades a situaciones reales. No es suficiente que los ambientes inmersivos sean capaces de generar condiciones psicológicas similares a las de la vida real. Esta información es importante pero no determinante para que la realidad virtual sea considerada como valiosa en el entrenamiento de habilidades psicológicas y motoras. Es responsabilidad de la comunidad académica corroborar la transferencia de entrenamiento. En esta verificación se deben tener un grupo control no entrenado para hacer comparaciones, y se deben contar con evaluaciones sistemáticas que efectivamente evalúen la habilidad que se desea entrenar para hacer una comparación entre el estado anterior y posterior.

También, se han hecho investigaciones respecto a las habilidades cognitivas que están relacionadas al fútbol y cómo se ven impactadas cuando se utiliza realidad virtual. Shimi et al. (2021) llevaron a cabo un estudio en donde evaluaban la habilidad de atención de las personas

cuando están ejecutando una actividad de tapar balones de fútbol en realidad virtual. Encontraron que los puntajes de las pruebas de atención se relacionaban con el desempeño de la tarea de arquero en RV. El procedimiento se realizó en unas gafas de realidad virtual y esta vez se utilizaron los controles del dispositivo para poder tapar los balones que en la virtualidad se lanzaban. Los buenos desempeños en la tarea de atajar pelotas se relacionaban directamente con los puntajes altos de los participantes en las pruebas de atención. Estos resultados son importantes para el entrenamiento de habilidades cognitivas en el deporte.

Asimismo, se ha comparado el efecto que tiene observar videos en realidad virtual o en formato tradicional sobre fútbol (Fortes et al., 2021). El VR generó mejores resultados en las habilidad perceptivo-cognitiva de los jugadores en comparación con el video en pantalla plana. Los videos para los dos grupos fueron los mismos y el grupo de VR utilizó un HMD para ver los videos de manera inmersiva. La evaluación de la habilidad perceptivo-cognitiva se hizo por medio de ejercicios físicos reales, donde se ubicaba al participante en situaciones donde debía hacer pases con la pelota de fútbol. Los resultados de las habilidades cognitivas son importantes para el estudio de la transferencia de habilidades motoras, porque esos dos tipos de habilidades se relacionan en el momento de ejecutar una acción concreta en fútbol.

En cuanto al entrenamiento de habilidades motoras de fútbol en realidad virtual, existe la investigación de Wood et al. (2021) en la que se validó a la realidad virtual como una herramienta capaz de distinguir la habilidad motora de un jugador profesional con la de un novato (validación ecológica). Para esto utilizaron gafas de realidad virtual y la aplicación MiHiepa Sports desarrollada por Rezzil, en la que pusieron a realizar ejercicios de fútbol a los participantes y compararon sus resultados. Esta evidencia significa que las habilidades perceptivo-cognitivas y motoras necesarias para rendir bien, tanto en la tarea de VR como en la

equivalente del mundo real, están relacionadas. Sin embargo, no significa que entrenar en el simulador que usaron tenga una transferencia positiva de habilidades al mundo real, esta evidencia aún es necesaria y se debe demostrar.

Capítulo III

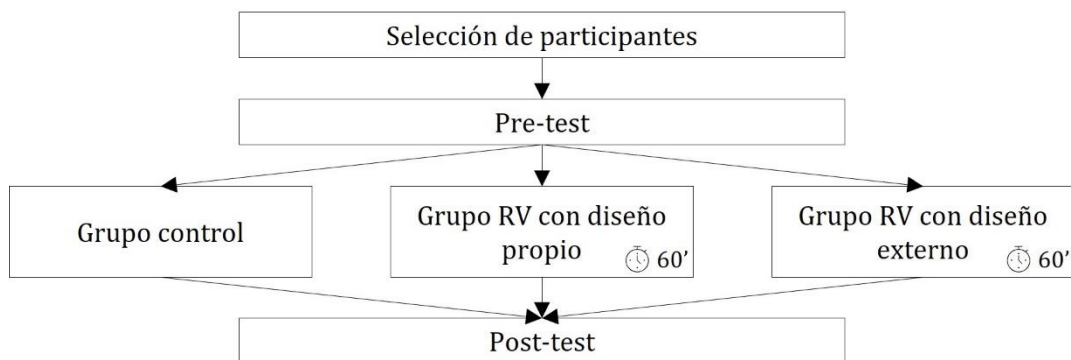
Método

3.1. Diseño y procedimiento

El estudio fue diseñado a partir de la metodología que McKenney & Reeves (2018) desarrollaron sobre investigaciones educativas. En la primera fase de la metodología llamada ‘Análisis y Exploración’ se identificó la necesidad investigativa y la literatura especializada. Durante la segunda fase de ‘Diseño y Construcción’ se diseñó las fases del procedimiento (Figura 1) y se desarrolló el ambiente propio de realidad virtual. Por último, en la fase de ‘Evaluación y Reflexión’, se llevó a cabo la implementación del procedimiento y la reflexión de los resultados.

Figura 1

Las fases del procedimiento



A continuación, se describe en detalle cada una de las fases del procedimiento.

3.2. Selección de participantes

Los participantes fueron un total de 61 niños (37 mujeres y 24 hombres) entre 9 y 11 años ($M = 9.88, SD = 0.754$). Todos los participantes eran estudiantes de un colegio público de primaria, y se cumplieron las normas y medidas de la institución para el manejo y control del

riesgo del coronavirus COVID-19. Los estudiantes contaban con el consentimiento de sus padres para participar en el procedimiento y completaron todas las fases de éste (15 participantes fueron excluidos porque no cumplieron con alguna de esas condiciones). Se excluyeron a los niños con problemas visuales porque cabecear un balón de fútbol con gafas es peligroso.

Las fases de evaluación y entrenamiento se realizaron durante la clase de educación física que tenían los estudiantes cada semana, por lo tanto se utilizó los cursos ya conformados por la institución y se asignaron de la siguiente manera: un curso se asignó como grupo control (sin ningún entrenamiento), y los otros dos cursos se asignaron de forma aleatoria a los grupos de entrenamiento, VR con diseño propio, y VR con diseño externo. En la Tabla 1 se presentan algunas de las características de los participantes. Además, 27 de los 61 participantes practican algún deporte durante la semana (aeróbicos, basquetbol, ciclismo, fútbol o patinaje).

Tabla 1

Promedio (desviación estándar) de las características de los participantes.

variables	Control n = 18	VR propio n = 21	VR externo n = 22	Total N = 61
Edad en años	10.38 (0.60)	9.66 (0.75)	9.68 (0.75)	9.88 (0.75)
Altura en cm	144.22 (5.48)	139.38 (6.43)	139.63 (6.40)	140.90 (6.40)
Peso en kg	40.44 (5.26)	34.95 (6.05)	36.04 (5.99)	36.96 (5.99)

3.3. Pre-test y Pos-test

Cabecear un balón de fútbol es el aprendizaje de tipo procedimiento/habilidad que se evaluó en este estudio. Para evaluar esta habilidad se utilizó la batería de pruebas F-MARC (FIFA Medical Assessment and Research Centre) elaborada por la FIFA (Rosch et al., 2000). La F-MARC evalúa varias habilidades técnicas del fútbol, entre ellas el cabeceo, la cual resultó con una fiabilidad satisfactoria en jugadores jóvenes (Padrón-Cabo et al., 2019). De acuerdo con

Rosch et al. (2000) la prueba de cabeceo evalúa la precisión y coordinación al cabecear un balón, y está dividida en dos ejercicios.

- Cabeceo frontal estático: el examinador se ubica en el medio de la portería y el examinado se ubica en el punto penal. El examinador lanza el balón con las manos a la cabeza del examinado. Si el lanzamiento no es lo suficientemente preciso, se repite. El examinado debe cabecear el balón en dirección a la portería, la cual está dividida en seis segmentos. Se otorga seis puntos al examinado si el balón entra en el segmento superior derecho o izquierdo de la portería, un punto si el balón golpea el larguero o los postes, y tres puntos si el balón entra en los segmentos inferior izquierdo o derecho. No se asigna ningún punto si el balón entra en el segmento central de la portería. El examinado tiene un primer intento de prueba que no cuenta y tres intentos restantes que sí cuentan.
- Cabeceo diagonal en carrera: el examinador se sitúa a tres metros del poste derecho y lanza el balón al punto de penalti. El examinado se coloca tres metros detrás del punto de penalti y luego avanza hacia el punto penal cuando el examinador lanza el balón, buscando cabecear en dirección a la portería. Nuevamente la portería está dividida en seis segmentos iguales: se otorga seis puntos si el balón entra en el segmento superior izquierdo, un punto si el balón golpea el travesaño o los postes de la portería, tres puntos si el balón entra en el segmento inferior izquierdo, dos puntos si el balón entra en el segmento superior central, y un punto si el balón entra en el segmento inferior central. No se asigna ningún punto si el balón entra en el segmento derecho de la portería. Para este

ejercicio el examinado también tiene un primer intento de prueba que no genera puntaje y tres intentos restantes que si generan puntaje.

La evaluación se realizó en la cancha de fútbol con pasto natural que tiene la institución (Figura 2). La portería tenía unas dimensiones de seis metros de largo por dos metros de alto, y una distancia al punto penal de nueve metros. Se usaron cuerdas de un centímetro de grosor para dividir la portería en seis partes iguales. Debido a la edad de los participantes se usó un balón de fútbol de talla cuatro Adidas Uniforia Finale League aprobado con los estándares de la FIFA: peso entre 350-390 gramos, circunferencia entre los 63-66 centímetros, y presión de inflado entre 0.6-0.8 bares.

Figura 2

Cancha de fútbol donde se realizó el Pre-test y Pos-test.



3.4. Grupo VR con diseño propio

El diseño y desarrollo del ambiente propio de aprendizaje en VR se realizó de acuerdo con la metodología de McKenney & Reeves (2018) en la cual se identificaron principios de diseño y estrategias de implementación para hacer el prototipo. A continuación se explica cada una de estas etapas.

3.4.1. Principios de diseño

Los principios de diseño son las mejores prácticas derivadas de investigaciones previas que se utilizaron de guía para la creación del prototipo. El eje central que guió la identificación de principios de diseño es la maximización de la efectividad de un ambiente de realidad virtual para transferir el entrenamiento de habilidades motoras a la realidad. Los siguientes principios son el resultado de relacionar información en artículos y libros sobre entrenamiento, realidad virtual, y deportes.

- Principio de fidelidad psicológica: un entrenamiento de habilidades motoras en realidad virtual es más efectivo cuando es capaz de recrear demandas perceptivo-cognitivas de la tarea real y conduce a que se observen comportamientos similares como en el entorno real (Gray, 2019). Estudios anteriores han destacado la importancia de diseñar ambientes virtuales lo más cercano posibles a la realidad para maximizar la transferencia de habilidad de lo virtual a lo real (Faure et al., 2020; Miles et al., 2012). El uso de ambientes virtuales poco similares al mundo real lleva a que se produzcan aprendizajes incorrectos, es decir, transferencia negativa de habilidades (Bird, 2020; Michalski, Szpak, & Loetscher, 2019).
- Principio de rendimiento eficiente: un entrenamiento de habilidades motoras en realidad virtual es más efectivo cuando se le da prioridad al rendimiento eficiente

de la experiencia por encima de gráficos realistas (Gray, 2019). Varios estudios demuestran que la adquisición de una habilidad motora dentro de un ambiente virtual no necesita de un alto nivel de detalle visual pero si de una simulación realista del movimiento (Bird, 2020; Michalski, Szpak, & Loetscher, 2019; Miles et al., 2012).

- Principio de calibración perceptual: un entrenamiento de habilidades motoras en realidad virtual es más efectivo si se permite al participante explorar el ambiente virtual antes de la actividad motora para calibrar su percepción espacial con la del ambiente virtual (Gray, 2019). Es importante brindar un periodo de familiarización en el ambiente virtual para limitar sus efectos sobre el mareo y/o los problemas en la percepción de las distancias (Faure et al., 2020).
- Principio de adaptabilidad: un entrenamiento de habilidades motoras en realidad virtual es más efectivo cuando se ajusta sistemáticamente el nivel de desafío en función del rendimiento del deportista (Michalski, Szpak, & Loetscher, 2019). Por ejemplo, Gray (2017) realizó una investigación sobre transferencia de entrenamiento en VR sobre béisbol y encontró que el grupo entrenado en VR de manera adaptativa se desempeñó de mejor manera en comparación al grupo entrenado de manera repetitiva en VR, y el grupo entrenado de manera repetitiva en el mundo real.
- Principio de progresión psico-pedagógico: un entrenamiento de la habilidad de cabecear en fútbol es más efectivo cuando se desarrolla de manera progresiva los factores psicológicos y pedagógicos que están asociados a esa habilidad (Borbón, 2013). La enseñanza del cabeceo debe empezar en un nivel básico para que los

jugadores ganen confianza y posteriormente se debe incrementar la dificultad de los ejercicios (LA84 Foundation, 2016).

3.4.2. Estrategias de implementación

Las estrategias de implementación son las acciones emprendidas en términos de diseño, formas de uso y soportes que se han desarrollado en el prototipo para garantizar el cumplimiento de los principios de diseño anteriormente identificados.

- Estrategia de fidelidad psicológica: el prototipo recrea de manera similar las sensaciones y comportamientos que produce cabecear un balón de fútbol en la realidad. Dos expertos en la enseñanza del fútbol avalaron la fidelidad psicológica del prototipo.
- Estrategia de rendimiento eficiente: el prototipo mantiene consistentemente la mayor cantidad de frames por segundo que las gafas de realidad virtual puede generar. No tiene caída de frames o ralentizaciones en ningún momento.
- Estrategia de calibración perceptual: el prototipo tiene una fase inicial de calentamiento y calibración que se compone de dos momentos. En el primer momento, el usuario debe cabecear tres balones estáticos en el aire en distintas alturas. En el segundo momento, el usuario debe cabecear la cantidad de tres balones en movimiento. Esta fase le permite al estudiante calibrar su sentido de profundidad y movimiento al ambiente de realidad virtual.
- Estrategia de adaptabilidad: el prototipo tiene un sistema de puntaje y niveles de dificultad el cual se adapta en tiempo real al desempeño que tiene el participante. El sistema de manera automática ubica al usuario en uno de los seis niveles de dificultad del prototipo de acuerdo con el puntaje realizado en cada ronda.

- Estrategia de progresión psico-pedagógica: el prototipo tiene un sistema de retroalimentación que le muestra al estudiante videos demostrativos reales sobre conceptos psicológicos y pedagógicos asociados a la habilidad de cabecear. El sistema en tiempo real determina la mayor debilidad del participante de acuerdo con su desempeño y elige entre cinco videos el más apropiado para mejorar esa debilidad en particular.

3.4.3. Prototipo

El prototipo utilizado en el grupo de VR con diseño propio fue desarrollado con el motor de videojuegos Unity. Esta herramienta permite exportar el ambiente virtual final a diferentes gafas de realidad virtual con relativa facilidad. Todos los elementos gráficos del prototipo son libres de derechos y pueden ser usados libremente. El participante observa el ambiente virtual desde un punto de vista de primera persona e interactúa con la aplicación por medio de sus movimientos físicos reales. Las acciones dentro del ambiente virtual tienen una retroalimentación visual y/o auditiva que confirma la acción.

El entrenamiento con el ambiente virtual propio se impartió a través de las gafas de realidad virtual Oculus Quest versión uno. Estas gafas son de tipo autónomas porque no necesitan sensores o cables externos para detectar el movimiento y giro de la cabeza. El entrenamiento de cada estudiante tuvo una duración en total de 60 minutos distribuidos en seis semanas seguidas, 10 minutos cada semana. El entrenamiento tuvo lugar en el interior del teatro cubierto de la institución (Figura 3).

Figura 3

Entrenamiento VR en el teatro cubierto de la institución.



A continuación, se describe en detalle el prototipo que se desarrolló.

3.4.3.1. Interfaz

El escenario se compone de una imagen en formato 360 del Estadio Nemesio Camacho El Campín. Se utilizó este lugar porque es un sitio reconocible para cualquier residente en Bogotá y porque la imagen gratuita que se consiguió tenía buena resolución. Además, la posición en la que fue tomada la foto es ideal para desarrollar el campo de fútbol que tiene el ambiente virtual inmersivo. A la imagen 360 la acompaña un modelo 3D de un campo de fútbol profesional con todas las marcas oficiales que determina la FIFA. El arco en el cual se hicieron los ejercicios tiene las medidas de seis metros de largo por dos metros de alto. El balón tiene las medidas de un balón oficial número cuatro. En la Figura 4 se puede observar desde una vista superior todos los elementos gráficos que componen el escenario virtual.

Figura 4

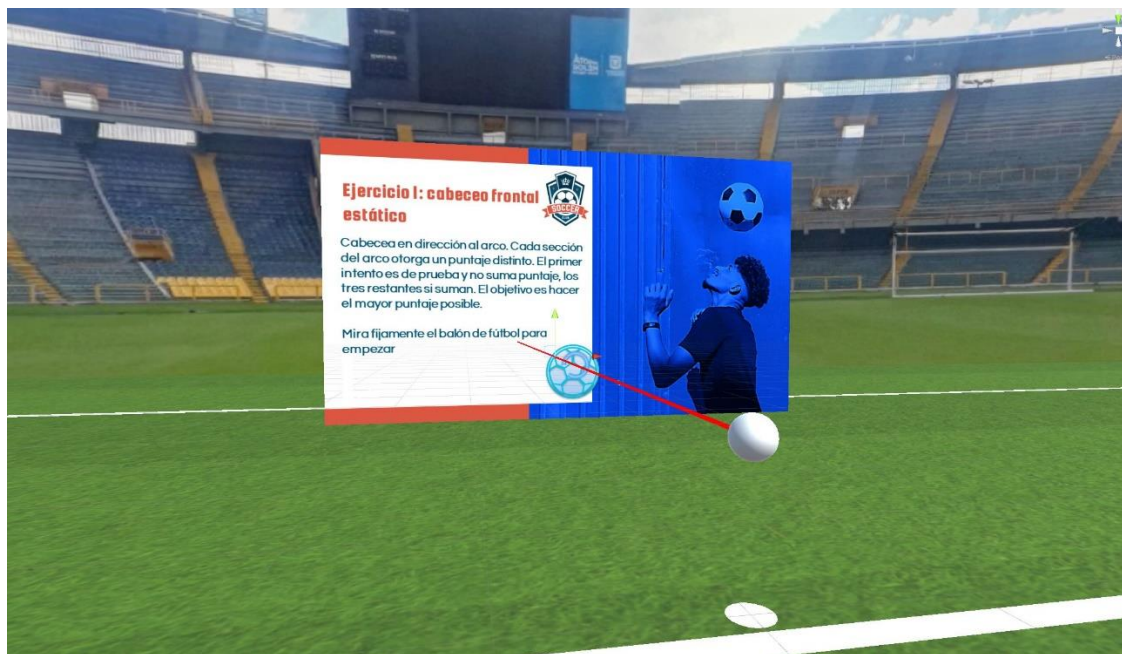
Vista superior del escenario virtual del prototipo.



Las imágenes de la interfaz tienen el objetivo de comunicar al estudiante la acción que debe realizar a continuación. Para avanzar a través de la aplicación, se diseñó un botón que es accionado por medio de la vista: se apunta con la cabeza al botón en forma de balón y se espera dos segundos mientras se acciona. Un estímulo gráfico le comunica al usuario que se está apuntando al botón y el tiempo que lleva apuntado. Esta función se programó por medio de un láser virtual invisible que tiene origen en los ojos y que permite saber el objeto que está mirando el estudiante. De esta manera, el usuario no tiene que usar los controles de las gafas de realidad virtual, los cuales pueden ser molestos en el momento de realizar la acción de cabeceo. Normalmente, en la realidad un futbolista no tiene nada en las manos al momento de cabecear, lo cual le permite hacer el movimiento de cabeceo con mayor naturalidad. En la Figura 5 se muestra el momento exacto de un estudiante viendo el botón de una imagen para avanzar al siguiente momento.

Figura 5

Menú de la interfaz del prototipo y accionar de un botón.



3.4.3.2. Ejercicios de calentamiento

Para cumplir la estrategia de calibración perceptual se diseñaron dos momentos iniciales donde el estudiante debe cabecear balones estáticos y en movimiento. Para el primer momento, el sistema toma de manera automática la estatura del participante por medio del sensor de las gafas de realidad virtual y coloca tres balones enfrente: uno a su misma altura, otro 30 centímetros más alto, y otro 30 centímetros más bajo (Figura 6). El prototipo detecta cuando han sido cabeceados los tres balones y avanza al siguiente momento. Era importante que el primer momento del estudiante con el balón fuera de manera estática, porque así puede calibrar de manera tranquila su sentido de profundidad y movimiento a las reglas físicas del mundo virtual que lo rodea. En el segundo momento del calentamiento, el usuario debe cabecear tres balones en movimiento que

vienen hacia él, teniendo como finalidad la calibración de sus sentidos con las de los objetos que se mueven en el espacio virtual.

Figura 6

Primer momento del calentamiento del prototipo, balones estáticos.

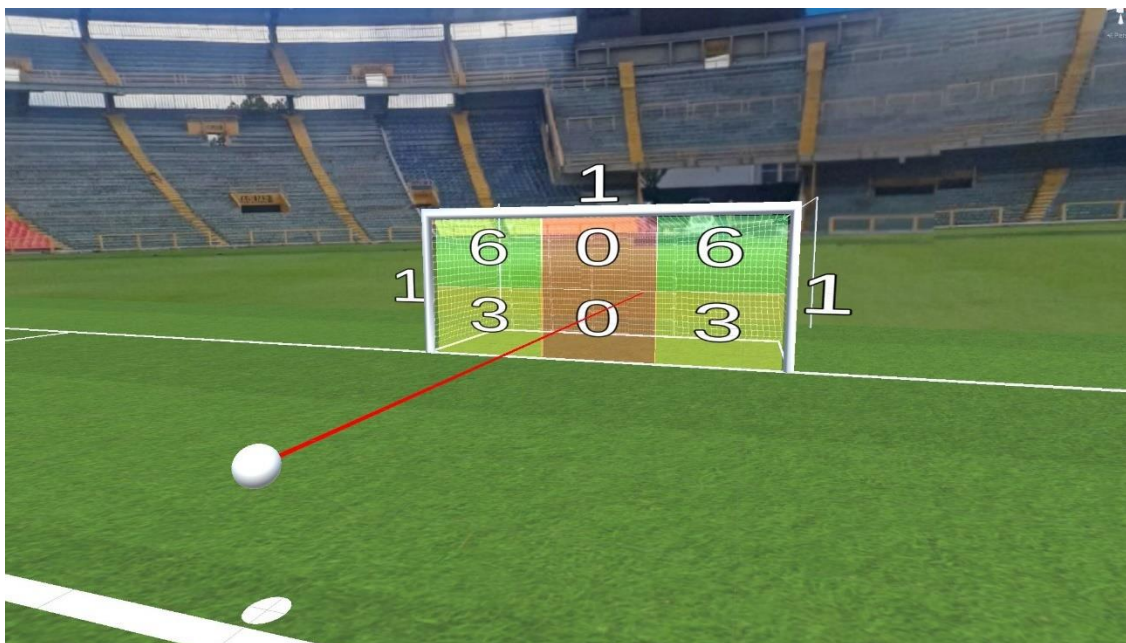


3.4.3.3. Ejercicios de entrenamiento

Los ejercicios que realizaron los estudiantes en el prototipo son los mismos que tiene la prueba F-MARC para evaluar la habilidad de cabeceo, y que se explicaron en la Sección 3.3. Sin embargo, aprovechando que se está en un mundo virtual donde hay total control de lo que sucede, se desarrollaron funcionalidades para que la experiencia fuera más completa. En un primer momento, se le muestra al estudiante por unos segundos los puntajes que tiene cada sección del arco. Se utilizó una referencia por colores para ayudar a identificar cada sección: el color verde representa los puntajes más altos, el color amarillo representa los puntajes medios, y el color rojo representa los puntajes que otorgan cero puntos (Figura 7).

Figura 7

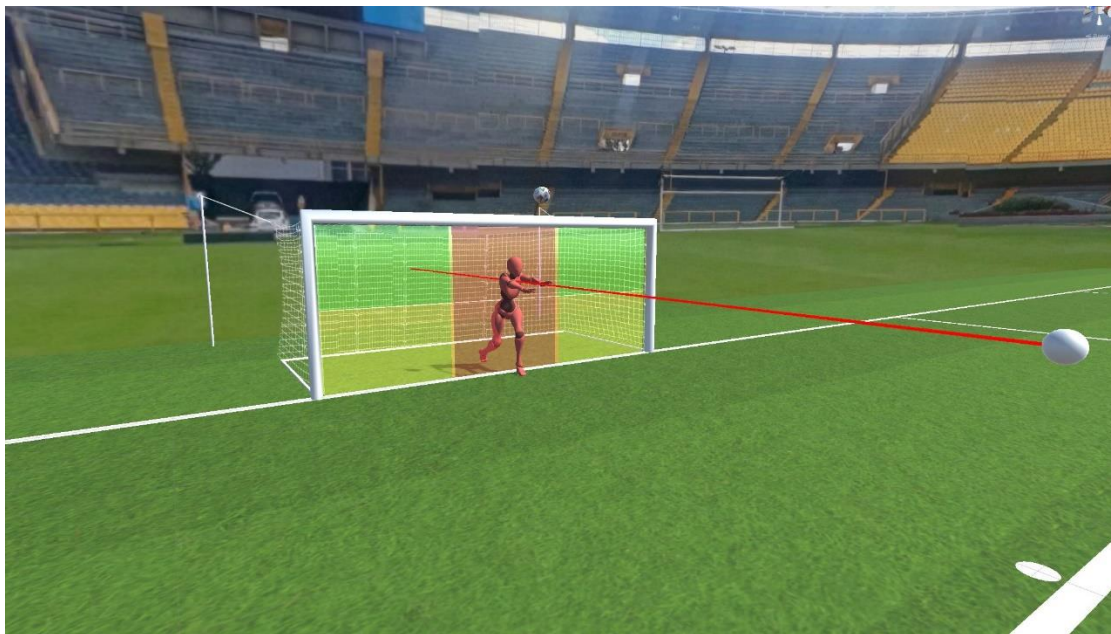
Puntajes que otorga cada área del ejercicio uno del prototipo.



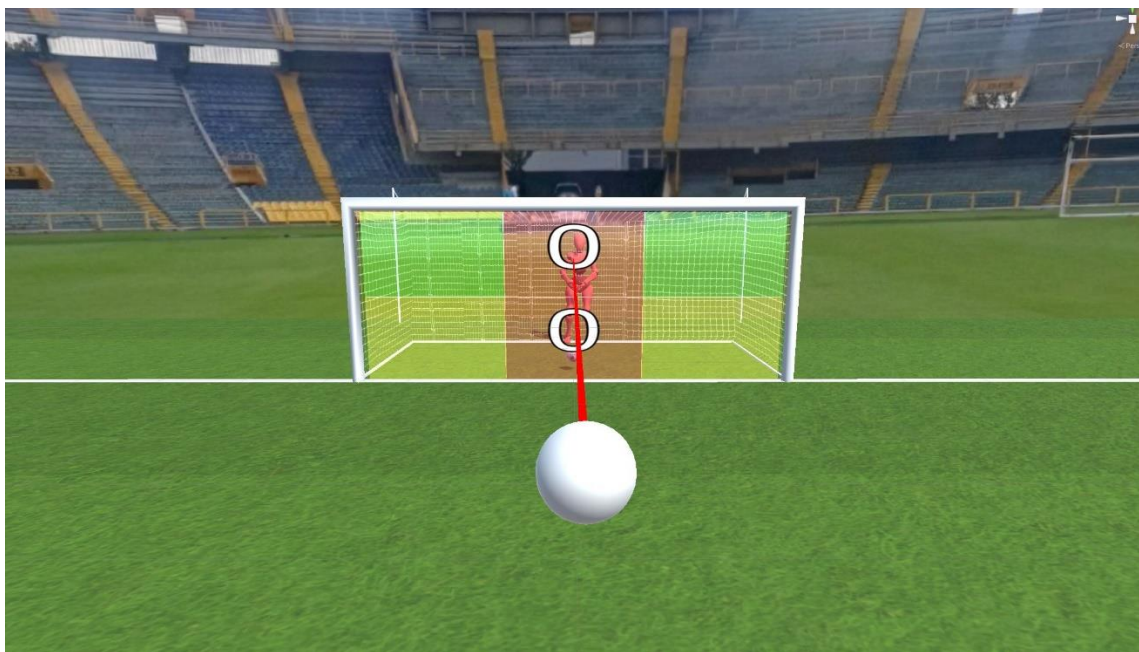
Una vez se han mostrado los puntajes, el siguiente momento es el lanzamiento y cabeceo de los balones hacia el arco. Para que el estudiante tenga una referencia del lanzamiento se utilizó un personaje animado el cual hace el movimiento de enviar el balón hacia el aire (Figura 8). Además, un sonido de silbato acompaña al inicio del lanzamiento para que una referencia auditiva se relacione al envío del balón. Si el balón cabeceado entra al arco, se muestra el puntaje de la primera sección que haya tocado el balón al ingresar, lo cual significa que ha sumado ese puntaje a su resultado final (Figura 9). Estas funciones de mostrar el puntaje al estudiante en varios momentos son muy importantes porque genera motivación en el cabeceo.

Figura 8

Lanzamiento animado del balón en el prototipo.

**Figura 9**

Momento en el que ingresa un balón al arco en el prototipo.



Las leyes físicas que rigen el cabeceo en el entorno virtual debían ser lo más fieles posibles a las físicas del mundo real para que se diera una transferencia positiva. Este es el principio de fidelidad psicológica explicado en la Sección 3.4.1. Para lograr esto, se hizo un trabajo gradual con el motor de físicas que tiene Unity por defecto. Primero, se asignaron las dimensiones y pesos reales de los objetos que iban a colisionar: el balón de fútbol y la cabeza. A la cabeza se le asignó la forma de esfera porque fue el objeto 3D que brindó mejores resultados. Después, se asignaron los valores físicos de fricción y rebote de los objetos. Esta fue la parte más complicada porque cada objeto es particular. Para llegar a los valores que se asignaron se hizo un trabajo de campo en un entorno real, en el que se grabó videos sobre el rebote de un balón de fútbol y el alcance del cabeceo.

Con estos videos de referencia se ajustaron los valores físicos de los objetos y se hicieron múltiples pruebas hasta conseguir una sensación de cabeceo muy similar a la real. Para que el proceso fuera objetivo se invitó a dos entrenadores de fútbol expertos en cabecear y se tuvo en cuenta sus comentarios. Calibrar las físicas de un entorno virtual que busca entrenar habilidades motoras es un proceso que toma tiempo y que debe hacerse con la mayor rigurosidad posible. Un entrenamiento en realidad virtual con físicas distintas a las de la realidad puede ocasionar una transferencia negativas de habilidades. En la Figura 10 se puede observar una imagen del video que se usó como referencia para calibrar las físicas de cabeceo del mundo virtual.

Figura 10

Imagen del video referente que se usó para calibrar las físicas del prototipo.

**3.4.3.4. Niveles de dificultad**

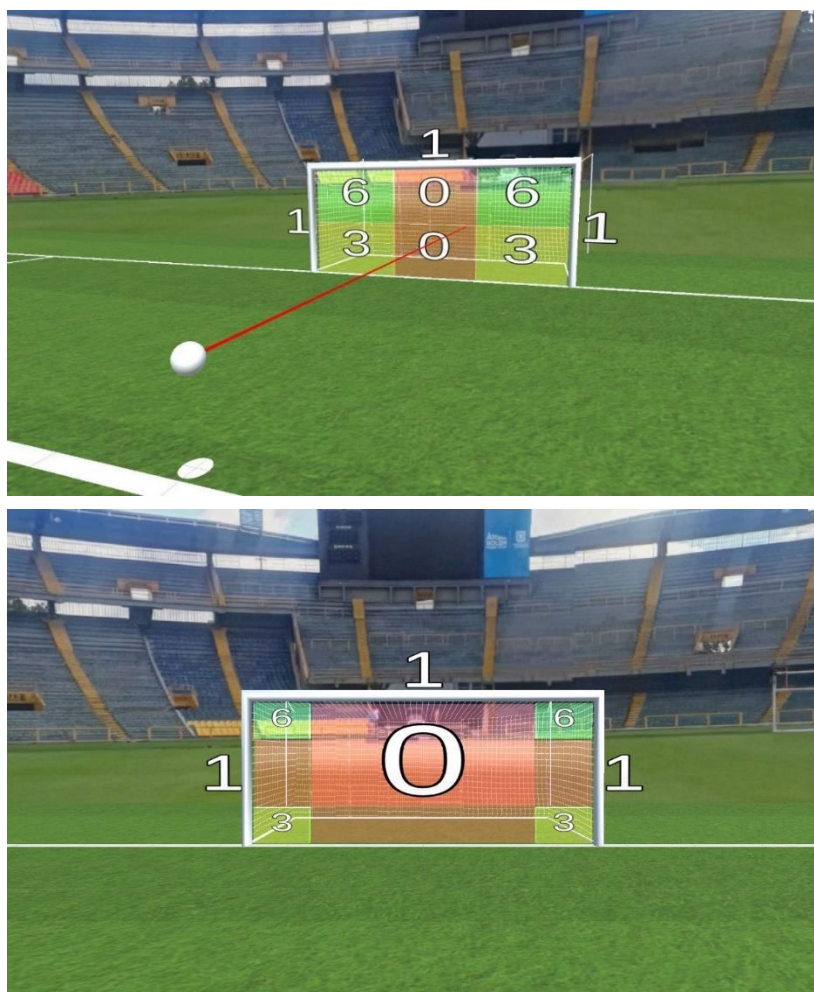
Para lograr que el prototipo se adaptara al nivel de habilidad del estudiante se diseñó y desarrolló un sistema de dificultad. El participante podía disminuir, mantener, o aumentar el nivel de dificultad de acuerdo al puntaje que había realizado en el ejercicio inmediatamente anterior. Los percentiles que se determinaron para ubicar al estudiante en un nivel de dificultad se basaron en los puntajes mínimos y máximos que se podían alcanzar, y en las múltiples pruebas que se habían realizado con anterioridad. Así por ejemplo, si el valor del puntaje realizado en el ejercicio era menor a seis, se bajaba de nivel. Si estaba entre seis y once se mantenía de nivel. Y si era mayor a doce, subía de nivel.

La transición entre niveles la hacía el sistema de manera automática y al estudiante solamente se le informaba. Los niveles variaban en dos aspectos: el área de los marcadores y la

dificultad del lanzamiento. Para motivar la precisión del cabeceo, entre mayor fuera el nivel, menor era el área de los marcadores que otorgaban puntaje (Figura 11). La dificultad de lanzamiento tiene que ver con la posición y efecto que tiene el lanzamiento del balón hacia la cabeza. Al estar en un entorno digital, se puede controlar con precisión el lanzamiento del balón, es decir, todos los lanzamientos pueden ser iguales, algo que no sucede en la vida real. En los primeros niveles es así para que el estudiante tome confianza, sin embargo, en los mayores niveles de dificultad el lanzamiento del balón es aleatorio y puede tener efectos, lo cual hace difícil su cabeceo. En total, se desarrollaron seis niveles de dificultad para cada ejercicio.

Figura 11

Áreas de los marcadores en niveles de dificultad fácil y difícil, respectivamente.



3.4.3.5. Retroalimentación

La estrategia de progresión psico-pedagógica, explicada en la Sección 3.4.2, se desarrolló por medio de un sistema de retroalimentación que constaba de tres elementos: el puntaje y el ranking, una maqueta pequeña de los movimientos realizados, y unos videos explicativos del movimiento correcto para cabecear. En el primer elemento, puntaje y ranking (Figura 12), se le muestra al estudiante el puntaje total realizado en el ejercicio y se multiplica por un valor que lo da la dificultad. A mayor nivel de dificultad, mayor es el valor de multiplicación. Abajo del puntaje se segmentaba el resultado de acuerdo al número de balones que anotó en cada área de puntaje. En la derecha de la imagen aparece un ranking con el top 10 de puntajes más altos en ese ejercicio. Al lado del puntaje aparece el nombre de la persona que lo realizó. Al principio de la aplicación se introduce el nombre del estudiante que va a realizar el entrenamiento. Por último, el nivel de dificultad aparece en la parte inferior derecha de la imagen. En esta sección también se dice si se baja o se sube de dificultad.

Figura 12

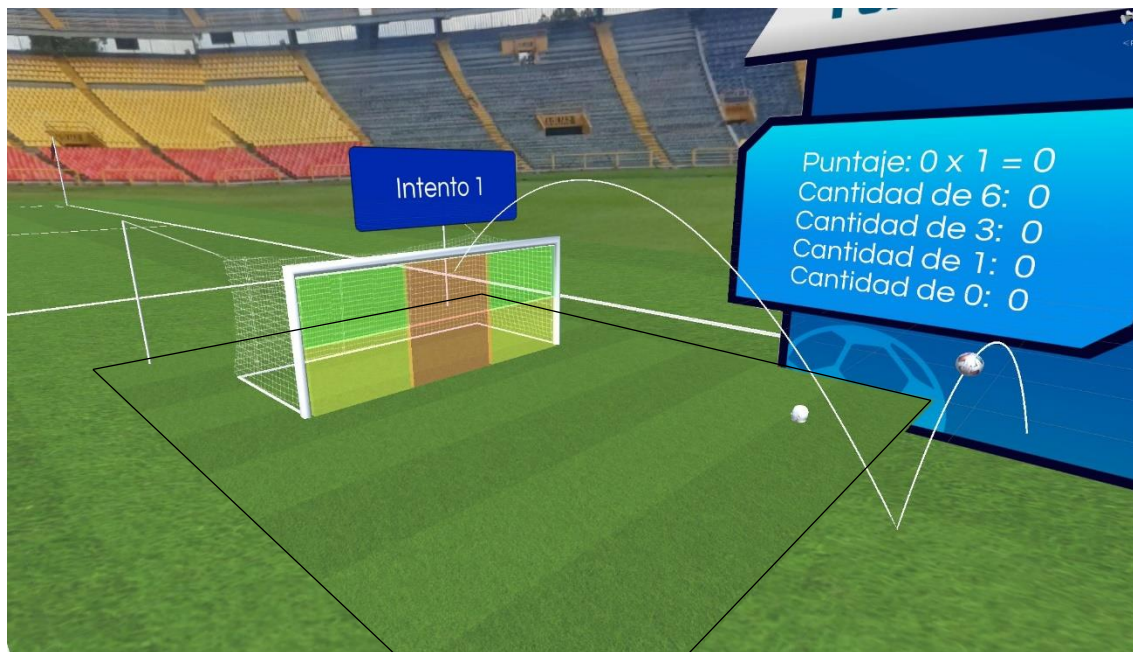
Retroalimentación del puntaje y ranking de un ejercicio en el prototipo.



El segundo elemento de la retroalimentación es una maqueta pequeña (Figura 13) que aparece al lado izquierdo de la imagen del puntaje, y que le muestra al estudiante cómo fueron las trayectorias de sus cabezazos. Para lograr esta funcionalidad se programó el seguimiento y almacenamiento de todas las posiciones que tiene el balón de fútbol y la cabeza del estudiante durante los cuatro intentos. Con esta información se reproduce de manera exacta la trayectoria de estos dos elementos en un arco pequeño al lado izquierdo del participante, dando la sensación de una maqueta animada. Este objeto 3D puede ser visto con libertad desde todos los ángulos y permite analizar los errores que se están cometiendo, como por ejemplo cabecear con la parte de arriba de la cabeza y no con la frente.

Figura 13

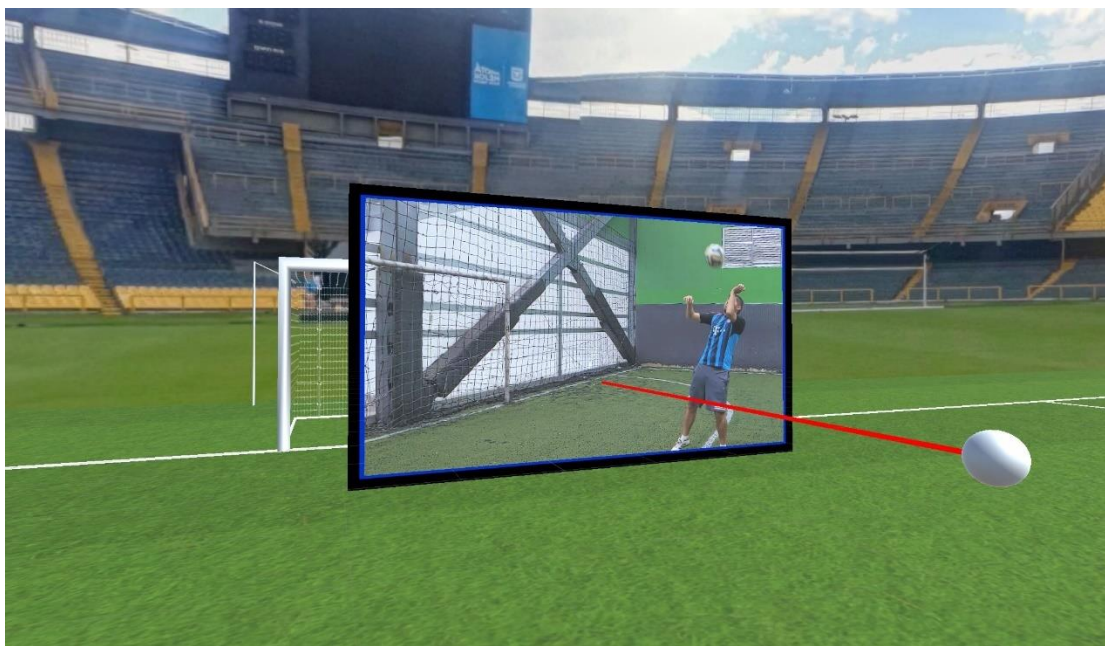
Reproducción 3D de las trayectoras de los cabezazos en el prototipo.



Por último, el tercer elemento de retroalimentación que se desarrolló fueron los videos demostrativos de la correcta ejecución del cabeceo. Se utilizó un sistema adaptativo donde se detectaba de manera automática el error más importante que está cometiendo el estudiante y se seleccionaba el video que mejor podría ayudar a superar ese error. Los videos tenían que ver con: ojos siempre mirando el balón, la parte correcta de la cabeza con la que se debe golpear el balón, la coordinación de todo el cuerpo para cabecear, cómo ser preciso en el cabezazo, y un refuerzo positivo. Después de ver el puntaje y el ranking, el usuario continuaba con la observación del video de retroalimentación (Figura 14) que se ubicaba enfrente de la portería. Aprovechando que se está en un mundo digital, el video tiene unas dimensiones grandes, las cuales generan inmersión. Todos los videos tienen un audio explicativo y una reproducción en cámara lenta del movimiento correcto.

Figura 14

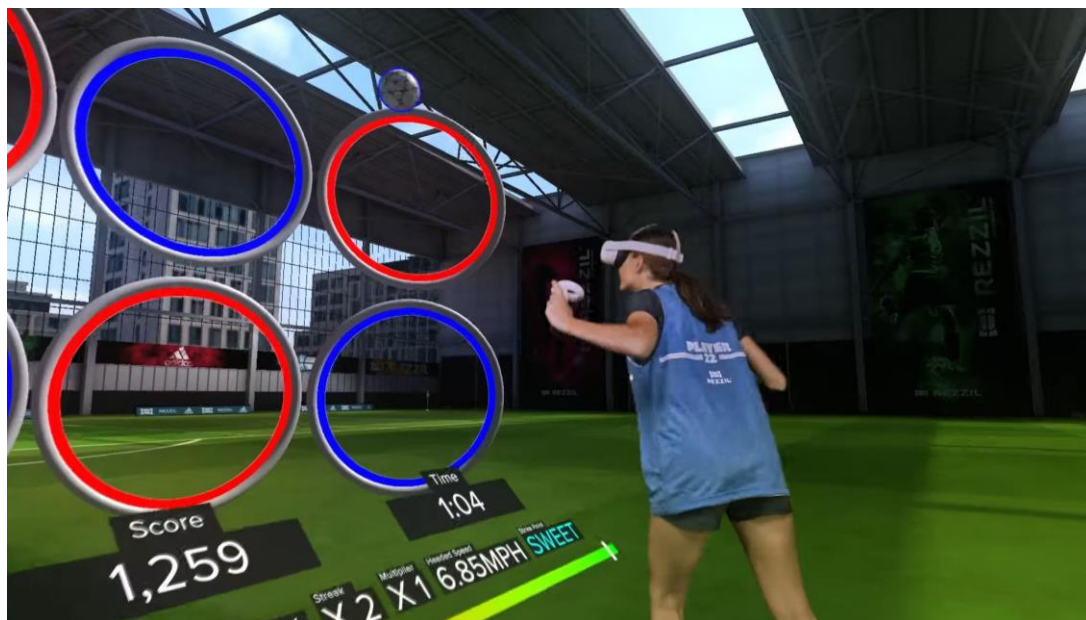
Panel con video de retroalimentación mostrado en el prototipo.

**3.5. Grupo VR con diseño externo**

Para el grupo de realidad virtual que se entrenó con diseño externo se utilizó la aplicación Player 22 desarrollada por Rezzil, que se encuentra en la Oculus Store para el Oculus Quest versión uno. Rezzil es una empresa mundial que apoya el desarrollo de atletas de élite por medio de experiencias como Player 22. Esta experiencia busca mejorar la forma física, agudizar la visión y entrenar las habilidades de los deportistas. Para el entrenamiento se utilizó el ejercicio de cabezazos que tiene la aplicación (Figura 15), el cual tiene como objetivo mejorar la técnica de remate con cabeza por medio de juegos de entrenamiento que se pueden utilizar en el mundo real. El tiempo y las condiciones de entrenamiento fueron las mismas que se usaron con el grupo de VR con diseño propio.

Figura 15

Ejercicio de cabeceo de la aplicación VR con diseño externo.



Entre las diferencias más significativas entre el desarrollo propio y el externo se encuentra que en Player 22 son necesarios los controles de las gafas de realidad virtual para avanzar por el menú de la interfaz. Además, el ejercicio de cabeceo tiene un sistema adaptativo de dificultad que incrementa el nivel del ejercicio de acuerdo al desempeño que tiene el usuario, pero no lo disminuye. El proceso de retroalimentación es distinto porque está enfocado en las variables de precisión y fuerza que se derivan de los múltiples cabeceos que se hicieron durante el ejercicio. Por ejemplo, en la Figura 16 se observa la imagen de retroalimentación que le da la aplicación al usuario inmediatamente después del ejercicio. Se observa el número de balones cabeceados, la mejor racha que se tuvo, la velocidad promedio de los cabezazos, la cantidad de balones que no llegaron al objetivo, entre otros datos. Por medio del control se selecciona la opción de intentar nuevamente y se repite el ciclo del ejercicio.

Figura 16

Retroalimentación de la aplicación VR con diseño externo.



3.6. Análisis de datos

Se realizó un análisis de covarianza de dos factores (MANCOVA) para evaluar los efectos de los grupos de entrenamiento (control, VR con diseño propio y VR con diseño externo) en el desempeño de los estudiantes en los ejercicios de cabeceo (cabeceo frontal estático y cabeceo diagonal en carrera). Antes de los entrenamientos, se midió el rendimiento de los estudiantes en los ejercicios de cabeceo para incorporarlos como covariables en el análisis (PRE-Ejer1 y PRE-Ejer2). El procedimiento estadístico se llevó a cabo con el Software SPSS, Statistical Package for the Social Sciences, versión 26. Antes de efectuar el análisis, se eliminaron los valores atípicos univariados y multivariados (distancia de Mahalanobis).

Además, se validaron los supuestos estadísticos de normalidad (la asimetría y curtosis está entre -2 y +2) (George & Mallery, 2010). Se cumple el principio de homogeneidad de paralelismo de los planos de regresión (*valor p de Box* = 0.047).

Capítulo IV

Resultados

Los resultados de los contrastes multivariados del análisis Mancova indican que el entrenamiento ($Pillai T: 0.39, F(4, 112) = 6.96, p = 0.00, \eta^2 = 0.19$) afectó significativamente las variables dependientes: cabeceo frontal estático (POS-Ejer1) y cabeceo diagonal en carrera (POS-Ejer2). En la Tabla 2 se presenta el resumen de los estadísticos descriptivos del desempeño de los estudiantes en los ejercicios de cabeceo, agrupados por la estrategia de entrenamiento.

Tabla 2

Promedios (desviación estándar) del desempeño de los grupos de entrenamiento.

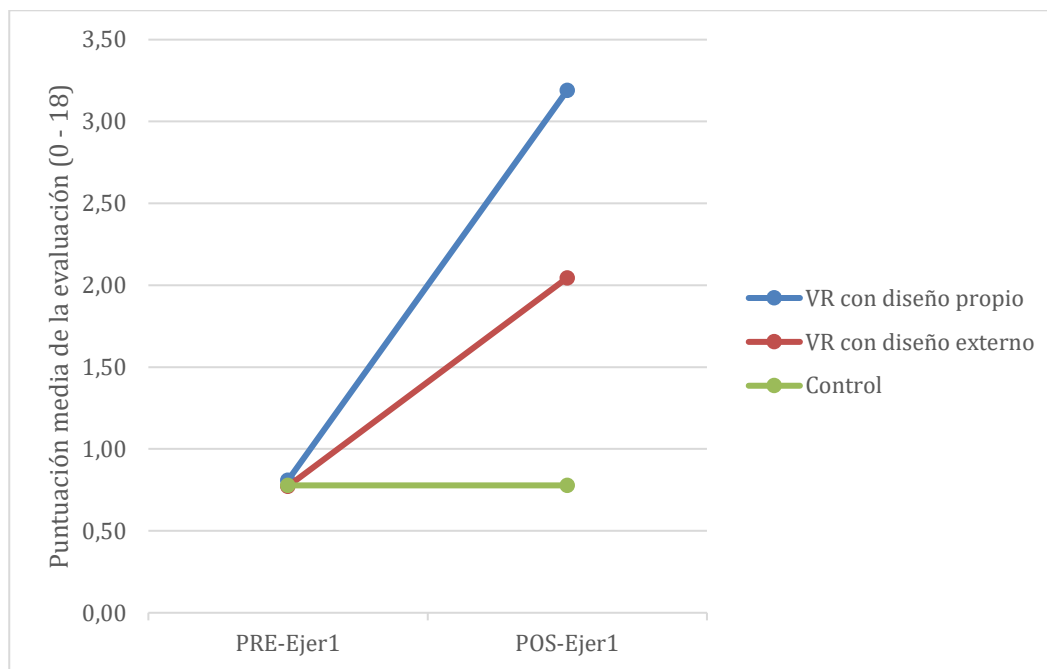
entrenamiento	POS-Ejer1	POS-Ejer2
Control	0.78 (1.26)	0.67 (1.02)
VR con diseño propio	3.19 (2.60)	2.14 (1.76)
VR con diseño externo	2.05 (2.01)	1.45 (1.26)

4.1. Cabeceo frontal estático (POS-Ejer1)

Se presentaron diferencias significativas en la variable cabeceo frontal estático por efecto del entrenamiento ($F(2, 56) = 13.92, p = 0.00, \eta^2 = 0.33$). Los resultados *post-hoc* de Bonferroni indicaron que se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el grupo Control ($M = 0.78, SD = 1.26$) y los grupos: VR con diseño propio ($M = 3.19, SD = 2.60$) y VR con diseño externo ($M = 2.05, SD = 2.01$). Entre los grupos de realidad virtual también hubo diferencias significativas (Figura 17).

Figura 17

Efecto de los entrenamientos en el cabeceo frontal estático.

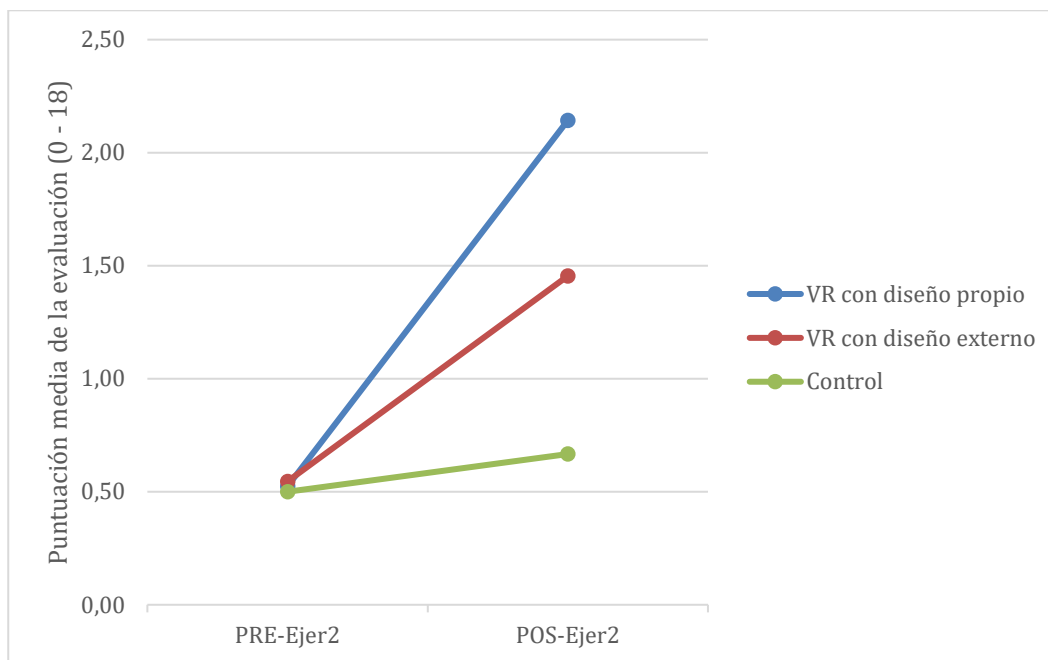


4.2. Cabeceo diagonal en carrera (POS-Ejer2)

Por efecto del entrenamiento hubo diferencias significativas en la variable cabeceo diagonal en carrera ($F(2, 56) = 13.00, p = 0.00, \eta^2 = 0.31$). En los resultados *post-hoc* de Bonferroni se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el grupo Control ($M = 0.67, SD = 1.02$) y los grupos: VR con diseño propio ($M = 2.14, SD = 1.76$) y VR con diseño externo ($M = 1.45, SD = 1.26$). También, existieron diferencias significativas entre los grupos de realidad virtual (Figura 18).

Figura 18

Efecto de los entrenamientos en el cabeceo diagonal en carrera.



Capítulo V

Discusión

Respondiendo las preguntas de investigación de la Sección 1.3, los resultados son contundentes, el entrenamiento en gafas de realidad virtual es efectivo para transferir de manera positiva habilidades motoras de fútbol al mundo real. También, se cumplió el objetivo general y los objetivos específicos que se habían planteado. A continuación, se discuten los hechos observados más relevantes que explican la efectividad de la tecnología.

5.1. La realidad virtual ayuda a superar el temor del cabeceo en fútbol

Un factor psicológico relacionado al aprendizaje del cabeceo es el miedo natural a golpear la pelota con una parte delicada y sensible como lo es la cabeza, siendo así un mecanismo natural de supervivencia que busca eludir la intervención de la cabeza para golpear cualquier objeto (Borbón, 2013). Precisamente, esto sucedió en la fase de Pre-test donde los estudiantes, la gran mayoría en su primera vez cabeceando, tenían un temor generalizado de golpear la pelota con la cabeza, lo cual llevaba a que no se cabecearan los balones de los intentos y que hicieran un puntaje bajo (Figura 19). Esa condición cambió en los grupos entrenados en realidad virtual ya que en la fase de Pos-test los estudiantes incrementaron notablemente el porcentaje de balones cabeceados durante la prueba, como se observa en la Tabla 3.

Figura 19

Temor de los estudiantes al cabecear el balón de fútbol.

**Tabla 3**

Porcentaje de balones cabeceados de los grupos de entrenamiento.

entrenamiento	PRE-Ejer1	POS-Ejer1	PRE-Ejer2	POS-Ejer2
Control	31%	35%	22%	27%
VR con diseño propio	28%	84%	20%	85%
VR con diseño externo	25%	86%	22%	89%

La pérdida de temor en los grupos entrenados podría explicarse por la terapia de exposición de realidad virtual (VRET). VRET combina la VR y la terapia para permitir a los pacientes con fobias trabajar sistemáticamente con sus miedos en un entorno completamente seguro y controlado (Stinson & Bowman, 2014). Entrenar la habilidad de cabeceo en realidad virtual generó un ambiente seguro que les permitió a los estudiantes enfrentarse al miedo de

cabecear un balón, logrando habituarse a la sensación de que un objeto se aproxime a la cabeza sin temor a lastimarse. Estos hallazgos sugieren que la realidad virtual es una herramienta que permite vencer miedos tempranos que pueda haber durante el entrenamiento de habilidades deportivas.

5.2. Habilidades deportivas transversales

Se anticipaba que los estudiantes que practican con regularidad deportes iban a tener un mejor desempeño que los que no, y así sucedió. Como se nota en la Tabla 4, los estudiantes que practican deporte obtuvieron puntajes superiores en el Pre-test y Pos-test en comparación a los que no. Este resultado añade evidencia a que la experticia deportiva es un predictor en el desempeño atlético (Mann et al., 2007). Los deportes practicados con anterioridad por los estudiantes eran en su mayoría diferentes al fútbol, obteniendo igualmente un desempeño superior en el cabeceo, esto se debe a que los deportes comparten habilidades transversales como la habilidad perceptivo-cognitiva, compuesta por la toma de decisiones, la anticipación y la búsqueda visual (Wood et al., 2021). El mejoramiento en los grupos entrenados también se explica por los resultados de Miles et al. (2012) en el que encontraron que las habilidades de anticipación y toma de decisiones son adecuadas para el entrenamiento en realidad virtual, las cuales se relacionan a la habilidad de cabeceo.

Tabla 4

Promedio (desviación estándar) del desempeño diferenciados por experticia deportiva.

entrenamiento	PRE-Ejer1		POS-Ejer1		PRE-Ejer2		POS-Ejer2	
	Inexperto	Experto	Inexperto	Experto	Inexperto	Experto	Inexperto	Experto
Control	0.09 (1.26)	1.85 (1.33)	0 (1.26)	2 (1.33)	0.09 (0.61)	1.14 (0.63)	0 (1.02)	1.71 (1.08)

VR con diseño propio	0 (1.23)	1.41 (1.23)	1.33 (2.26)	4.58 (2.31)	0 (0.87)	0.91 (0.87)	1 (1.53)	3 (1.54)
VR con diseño externo	0 (1.22)	2.12 (1.26)	0.92 (2.24)	4 (2.28)	0 (0.86)	1.5 (0.85)	0.85 (1.52)	2.5 (1.52)

5.3. Aprendizaje motor por observación

Los resultados mostraron que el grupo entrenado con el ambiente de realidad virtual de diseño propio tuvo mejores desempeños significativos en los dos ejercicios en comparación al grupo entrenado en realidad virtual de diseño externo. Una razón para explicar la diferencia podría ser el único principio de diseño que no comparten: la progresión psico-pedagógica. Este principio se implementó a través de una estrategia de retroalimentación por videos reales que le mostraba al estudiante la manera correcta de ejecutar el movimiento (Figura 20). Estos videos instructivos permiten el aprendizaje motor por observación, el cual hace referencia al proceso de aprendizaje de una acción motora a partir de la información presentada por un modelo de ejecución (Lago-Rodríguez et al., 2014). Además, los ambientes inmersivos potencialmente mejoran la habilidad de los observadores cuando estos ven videos instructivos sobre demostración de habilidades (Michalski, Szpak, & Loetscher, 2019). Parece ser que el video en VR se siente como si fuera una acción real, donde la inmersión puede ser un factor clave que conduce a ganancias transferibles de habilidades perceptivo-cognitivas (Fortes et al., 2021).

Los estudiantes que se entrenaron en la realidad virtual de diseño propio tuvieron la oportunidad de transformar de manera inmediata la información visual observada de los videos psico-pedagógicos en comandos motores relacionados a la acción correcta de cabeceo. El desempeño superior de este grupo entrenado se puede explicar con lo mencionado por Michalski, Szpak, Saredakis, et al. (2019) y Miles et al. (2012) de que la realidad virtual tendrá los mayores beneficios como herramienta de entrenamiento, cuando los usuarios puedan aplicar la forma y la técnica correcta en un entorno de juego realista. El grupo de VR con diseño externo contaba con

un entorno realista para entrenar pero no tenía un mecanismo psico-pedagógico que permitiera mejorar la técnica de cabeceo. Durante el Pos-test se observó que los estudiantes del grupo de VR con diseño externo cabeceaban la mayoría de balones pero sin técnica, a diferencia de los estudiantes del grupo de VR con diseño propio los cuales cabeceaban los balones con la técnica correcta, llevándolos a obtener mayores puntajes.

Figura 20

Diferencia de técnica de cabeceo entre los dos ambientes de entrenamiento VR.



5.4. Implicaciones teóricas y prácticas

Los hallazgos de este estudio ayudan a avanzar en la comprensión teórica de la transferencia de habilidad motoras cuando se entrena en un ambiente de realidad virtual. Este trabajo es una continuación de las recomendaciones de diseño de estudio de Michalski, Szpak, & Loetscher, (2019) y Miles et al. (2012) para demostrar transferencia al mundo real desde lo virtual. Los principios de diseño identificados y las estrategias de implementación realizadas son elementos a tener en cuenta por las próximas investigaciones porque han sido probados con

rigurosidad científica. Además, es información que especifica el espectro amplio del entrenamiento en realidad virtual ya que fue diseñada para un dispositivo en particular, las gafas de realidad virtual.

Esta investigación proporciona evidencia a una literatura escasa sobre demostración de transferencia de habilidades al mundo real del entrenamiento deportivo en gafas de realidad virtual. Para que el entrenamiento en VR relacionado con el deporte sea un complemento válido del entrenamiento deportivo del mundo real, se requiere la demostración científica de la transferencia al mundo real (Michalski, Szpak, & Loetscher, 2019; Wood et al., 2021). Además, los entrenadores y jugadores de fútbol consideran que la RV será valiosa para el entrenamiento del deporte hasta que se demuestre su capacidad de mejorar el desempeño de los jugadores (Greenhough et al., 2022). Los hallazgos de este estudio implican que el entrenamiento en gafas de realidad virtual es un complemento positivo para los novatos cuando están aprendiendo la habilidad de cabeceo en fútbol. Los entrenadores de este deporte pueden diseñar experiencias de entrenamiento donde la práctica en la realidad se vea complementada por un entrenamiento en realidad virtual que sus estudiantes pueden hacer desde la habitación de su casa.

5.5. Direcciones futuras

El presente estudio es uno de los primeros en investigar la diferencia en principios de diseño y estrategias de implementación de dos ambientes de realidad virtual que demuestran transferir habilidades motoras deportivas al entorno real. Un siguiente paso podría ser la investigación sobre los posibles beneficios multidisciplinarios que el entrenamiento en gafas de realidad virtual puede tener a nivel deportivo. También, se puede explorar las diferencias que tienen los escenarios que fueron diseñados para entretener y los escenarios que fueron diseñados

para entrenar. En general, cada vez más salen aplicaciones sobre deportes para gafas de realidad virtual y es interesante evaluar el verdadero potencial que estas tienen para el desarrollo de habilidades motoras reales.

Referencias

- Akbaş, A., Marszałek, W., Kamieniarz, A., Polechoński, J., Słomka, K. J., & Juras, G. (2019). Application of Virtual Reality in Competitive Athletes – A Review. *Journal of Human Kinetics*, 69(1), 5–16. <https://doi.org/doi:10.2478/hukin-2019-0023>
- Baldwin, T. T., & Ford, J. K. (1988). Transfer of training: a review and directions for future research. *Personnel Psychology*, 41(1), 63–105.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1988.tb00632.x>
- Bhagat, K. K., Liou, W.-K., & Chang, C.-Y. (2016). A cost-effective interactive 3D virtual reality system applied to military live firing training. *Virtual Reality*, 20(2), 127–140.
<https://doi.org/10.1007/s10055-016-0284-x>
- Bird, J. M. (2020). The use of virtual reality head-mounted displays within applied sport psychology. *Journal of Sport Psychology in Action*, 11(2), 115–128.
<https://doi.org/10.1080/21520704.2018.1563573>
- Borbón, O. R. (2013). Guía Didáctica para la Enseñanza de la Técnica (Niños y Adolescentes de 8 a 16 años). *MHSalud: Revista En Ciencias Del Movimiento Humano y Salud*, 10(1).
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/mhsalud/article/view/5324>
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? *Computer*, 40(7), 36–43. <https://doi.org/10.1109/MC.2007.257>
- Checa, D., & Bustillo, A. (2020). A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. *Multimedia Tools and Applications*, 79(9), 5501–5527.
<https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348-9>

- Craig, C. M., Bastin, J., & Montagne, G. (2011). How information guides movement: Intercepting curved free kicks in soccer. *Human Movement Science, 30*(5), 931–941.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.08.007>
- Faure, C., Limballe, A., Bideau, B., & Kulpa, R. (2020). Virtual reality to assess and train team ball sports performance: A scoping review. *Journal of Sports Sciences, 38*(2), 192–205.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1689807>
- FIFA. (2016). *Youth Football*. FIFA.
<https://digitalhub.fifa.com/m/1b3da6976c9290aa/original/mxpozhr2gjsmrxrlpf-pdf.pdf>
- Fortes, L. S., Almeida, S. S., Praça, G. M., Nascimento-Júnior, J. R. A., Lima-Junior, D., Barbosa, B. T., & Ferreira, M. E. C. (2021). Virtual reality promotes greater improvements than video-stimulation screen on perceptual-cognitive skills in young soccer athletes. *Human Movement Science, 79*, 102856.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102856>
- George, D., & Mallery, P. (viaf)92115668. (2010). *SPSS for Windows step by step : a simple guide and reference, 17.0 update* (10th ed.). Boston : Allyn & Bacon.
<http://lib.ugent.be/catalog/rug01:001424067>
- Giulianotti, R., & Robertson, R. (2004). The globalization of football: a study in the glocalization of the ‘serious life.’ *The British Journal of Sociology, 55*(4), 545–568.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1468-4446.2004.00037.x>
- González Izard, S., Juanes, J., García-Peñalvo, F., Jimenez, M., Pastor, F., & Ruisoto, P. (2017). *360° vision applications for medical training*. <https://doi.org/10.1145/3144826.3145405>
- Gray, R. (2017). Transfer of Training from Virtual to Real Baseball Batting. *Frontiers in Psychology, 8*, 2183. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02183>

- Gray, R. (2019). Virtual environments and their role in developing perceptual-cognitive skills in sports. In A. M. Williams & R. C. Jackson (Eds.), *Anticipation and Decision Making in Sport* (1st Edition, pp. 342–358). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315146270-19>
- Greenhough, B., Barrett, S., Towlson, C., & Abt, G. (2022). Perceptions of professional soccer coaches, support staff and players toward virtual reality and the factors that modify their intention to use it. *PLOS ONE*, *16*(12), e0261378-.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261378>
- Gulec, U., Yilmaz, M., Isler, V., O'Connor, R. v., & Clarke, P. M. (2019). A 3D virtual environment for training soccer referees. *Computer Standards & Interfaces*, *64*, 1–10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.11.004>
- Hoinville, T., Naceri, D., Ortiz, J., Bernier, E., & Chellali, R. (2011). Performances of experienced and novice sportball players in heading virtual spinning soccer balls. In *Proceedings - IEEE Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1109/VR.2011.5759441>
- Jerald, J. (2015). *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool.
- LA84 Foundation. (2016). *Manual de entrenamiento de fútbol* (S. Chapman, E. Derse, & J. Hansen, Eds.). LA84 Foundation. <https://la84.org/wp-content/uploads/2016/09/LA84SpanishSoccerManual.pdf>
- Lago-Rodríguez, Á., Cheeran, B., Koch, G., Hortobagay, T., & Fernández-Del-Olmo, M. (2014). The role of mirror neurons in observational motor learning: an integrative review. *European Journal of Human Movement*, *32*, 82–103.

- Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-Cognitive Expertise in Sport: A Meta-Analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *29*(4), 457–478. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.4.457>
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2018). Conducting Educational Design Research. In *Conducting Educational Design Research* (2nd ed.). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315105642>
- McLeod, P., Reed, N., Gilson, S., & Glennerster, A. (2008). How soccer players head the ball: A test of optic acceleration cancellation theory with virtual reality. *Vision Research*, *48*(13), 1479–1487. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.03.016>
- Michalski, S. C., Szpak, A., & Loetscher, T. (2019). Using Virtual Environments to Improve Real-World Motor Skills in Sports: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, *10*, 2159. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02159>
- Michalski, S. C., Szpak, A., Saredakis, D., Ross, T. J., Billinghamurst, M., & Loetscher, T. (2019). Getting your game on: Using virtual reality to improve real table tennis skills. *PLOS ONE*, *14*(9), e0222351-. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222351>
- Miles, H. C., Pop, S. R., Watt, S. J., Lawrence, G. P., & John, N. W. (2012). A review of virtual environments for training in ball sports. *Computers & Graphics*, *36*(6), 714–726.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cag.2012.04.007>
- Padrón-Cabo, A., Rey, E., Pérez-Ferreirós, A., & Kalén, A. (2019). Test–Retest Reliability of Skill Tests in the F-MARC Battery for Youth Soccer Players. *Perceptual and Motor Skills*, *126*(5), 1006–1023. <https://doi.org/10.1177/0031512519866038>

- Pennington, E., Hafer, R., Nistler, E., Seech, T., & Tossell, C. (2019). Integration of Advanced Technology in Initial Flight Training. *2019 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/SIEDS.2019.8735628>
- Rauter, G., Sigrist, R., Koch, C., Crivelli, F., van Raai, M., Riener, R., & Wolf, P. (2013). Transfer of Complex Skill Learning from Virtual to Real Rowing. *PLOS ONE*, 8(12), e82145-. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082145>
- Rosch, D., Hodgson, R., Peterson, L., Graf-Baumann, T., Junge, A., Chomiak, J., & Dvorak, J. (2000). Assessment and Evaluation of Football Performance. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5_suppl), 29–39. https://doi.org/10.1177/28.suppl_5.s-29
- Shimi, A., Tsestou, V., Hadjaros, M., Neokleous, K., & Avraamides, M. (2021). Attentional Skills in Soccer: Evaluating the Involvement of Attention in Executing a Goalkeeping Task in Virtual Reality. *Applied Sciences*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/app11199341>
- Soriano Mas, C. (2007). *Fundamentos de Neurociencia*. Universitat Oberta de Catalunya.
- Stinson, C., & Bowman, D. A. (2014). Feasibility of Training Athletes for High-Pressure Situations Using Virtual Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 20(4), 606–615. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.23>
- Todorov, E., Shadmehr, R., & Bizzi, E. (1997). Augmented Feedback Presented in a Virtual Environment Accelerates Learning of a Difficult Motor Task. *Journal of Motor Behavior*, 29(2), 147–158. <https://doi.org/10.1080/00222899709600829>
- Vega, J., Rose, S., Eckhardt, C., Tahai, L., Humer, I., & Pietroszek, K. (2017). VR Wildfire Prevention: Teaching Campfire Safety in a Gamified Immersive Environment. *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. <https://doi.org/10.1145/3139131.3141218>

Wood, G., Wright, D. J., Harris, D., Pal, A., Franklin, Z. C., & Vine, S. J. (2021). Testing the construct validity of a soccer-specific virtual reality simulator using novice, academy, and professional soccer players. *Virtual Reality*, 25(1), 43–51. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00441-x>