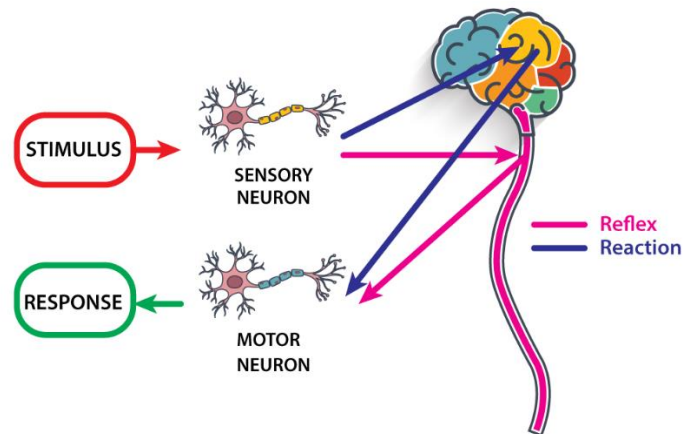


TIEMPO DE REACCION EN DEPORTES DE RAQUETA



TIPO DE TFG: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

TITULACIÓN: GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE

CURSO: 2025/26

TUTOR ACADÉMICO: MARIANO MARTÍNEZ GÓMEZ

ALUMNO: DANIEL TORRES PASTOR

ÍNDICE GENERAL:

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Los deportes de raqueta como disciplinas de habilidades abiertas (<i>open skills</i>).....	3
1.2. El tiempo de reacción, la atención visual y la anticipación en el rendimiento deportivo:..	4
1.3. Justificación del estudio y delimitación del problema de investigación.	4
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	5
2.1. Objetivo General:.....	5
2.2. Objetivos Específicos:	5
2.3. Hipótesis de la investigación	5
3. MARCO TEÓRICO: CORRELATOS COGNITIVOS Y NEUROFISIOLÓGICOS DEL TIEMPO DE REACCIÓN	6
3.1. Mecanismos neurofisiológicos y funciones ejecutivas en el tiempo de reacción.....	6
3.2. Percepción visual temprana y procesamiento del movimiento en profundidad:	8
3.3. Comportamiento visual y extracción de pistas cinemáticas (<i>kinematic cues</i>):.....	9
3.4. Toma de decisiones tácticas y comportamiento estratégico en la pista:	11
4. METODOLOGÍA.....	12
4.1. Diseño de la investigación:.....	12
4.2. Criterios de elegibilidad:.....	12
4.3. Estrategia de búsqueda y fuentes de información.....	13
4.4. Proceso de selección y análisis crítico de la muestra:.....	14
5. RESULTADOS	15
5.1. Hallazgos neurofisiológicos:	15
5.2. Hallazgos perceptivo-visuales:.....	16
5.3. Hallazgos tácticos:.....	17
6. DISCUSIÓN.....	17
6.1. La ventaja cognitiva del experto:.....	17
6.2. Del comportamiento reactivo al proactivo: cómo el experto "gana milisegundos":	18
6.3. Implicaciones prácticas y propuestas metodológicas para el entrenamiento:	19
6.4. Limitaciones del estado de la cuestión y futuras líneas de investigación:	19
7. CONCLUSIONES	20
1. La eficiencia neurofisiológica y la inhibición del "ruido visual" son el motor del rendimiento experto.....	20
2. La anticipación motriz nace de una estrategia visual proactiva centrada en pistas cinemáticas, no de reflejos reactivos.	20

3. El constructo de la "experiencia ganadora" invalida los modelos tradicionales de repetición biomecánica aislada.	21
4. Existe una brecha metodológica en el estudio ecológico directo del jugador novel.....	21
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
9. ANEXOS	24

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Los deportes de raqueta como disciplinas de habilidades abiertas (*open skills*)

- Los deportes de raqueta, como el tenis, el pádel, el bádminton y el tenis de mesa, se clasifican dentro de las disciplinas de habilidades abiertas u *open skills*. Esta categoría indica que se desarrollan en entornos impredecibles y que cambian constantemente. A diferencia de los deportes de habilidades cerradas o más estáticos, donde los movimientos se hacen de forma aislada, en los deportes de raqueta la toma de decisiones es totalmente dinámica.

De este modo, la ejecución de cada golpe biomecánico no constituye un evento aislado, sino que forma parte de una cadena ininterrumpida de micro-decisiones en tiempo real, donde la elección del gesto técnico a realizar depende directamente de la respuesta biomecánica anterior del rival y, de forma simultánea, condiciona la viabilidad de la acción siguiente.

Mantener peloteos continuos a alta velocidad obliga a las áreas frontales del cerebro a trabajar con gran intensidad. Esta región es la encargada de las "funciones ejecutivas", que incluyen procesos clave como la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva ante imprevistos y la planificación táctica bajo presión. En una situación real de partido, donde el tiempo de reacción es mínimo, los jugadores tienen apenas unos milisegundos para calcular la trayectoria de la bola y adivinar las intenciones del oponente. Por eso, el éxito en estos deportes no depende solo de tener una buena técnica, sino de la capacidad del sistema nervioso para procesar un entorno que nunca se detiene y elegir la mejor respuesta motriz.

Esta capacidad de adaptación rápida es precisamente lo que diferencia a los jugadores noveles de los expertos. La literatura científica muestra que un principiante puede tener una buena técnica cuando golpea en situaciones estáticas o previsibles. Sin embargo, su capacidad para tomar decisiones colapsa en cuanto se enfrenta a la velocidad del juego real. Esto ocurre porque el jugador novel gasta toda su atención intentando coordinar conscientemente su propio golpe, lo que le impide procesar la información de su alrededor.

Por el contrario, los expertos ya tienen automatizados sus movimientos, lo que les libera de esa carga mental. Esto les permite usar su visión para anticiparse a la jugada, fijándose en la postura del rival para predecir la trayectoria de la pelota y dominar el juego de forma proactiva.

1.2. El tiempo de reacción, la atención visual y la anticipación en el rendimiento deportivo:

- En deportes tan rápidos, el rendimiento no depende solo de la fuerza o la velocidad física, sino de una combinación mental clave: el tiempo de reacción, la atención visual y la anticipación. En pleno partido, reaccionar no es simplemente responder a un estímulo; es un proceso continuo donde el jugador debe elegir entre varias opciones rodeado de incertidumbre. Tienes que percibir la bola, decidir tu táctica y ejecutar el golpe en fracciones de segundo.
- Para golpear correctamente, los mecanismos del cerebro deben coordinarse en milisegundos antes de quedarse sin espacio ni tiempo. Aquí es donde entra la atención visual, el primer paso de este engranaje. Gracias a tecnologías como el *eye-tracking* (seguimiento ocular), estudios recientes en situaciones reales de juego (como los de Espino Palma et al., 2023 en pádel) demuestran que los expertos y los nóveles miran el juego de formas totalmente distintas.
- Los jugadores de alto nivel no siguen pasivamente la bola con la mirada. Al contrario, son muy eficientes: hacen menos fijaciones visuales, pero más largas, y las dirigen a puntos clave del rival, como la posición de sus hombros o el ángulo de su raqueta. Esta forma selectiva de mirar les permite anticiparse. Como la bola a menudo viaja más rápido de lo que el cuerpo humano puede reaccionar por puro reflejo, el experto usa estas pistas visuales para predecir la trayectoria antes de que el rival golpee. Esto les da un tiempo extra valiosísimo para preparar su propio golpe, mientras que el novel siempre va un paso por detrás, reaccionando solo cuando la pelota ya está volando hacia su campo.
- Desde la neurociencia, herramientas como la electroencefalografía han comprobado que el cerebro del novato se agota rápidamente intentando procesar de forma consciente la velocidad de la bola, su propia posición y su técnica. Sin embargo, el experto disfruta de lo que llamamos "eficiencia neuronal": su cerebro se activa solo en áreas muy específicas, lo que le permite mantener la concentración y tomar micro decisiones durante peloteos largos sin agotarse mentalmente.

1.3. Justificación del estudio y delimitación del problema de investigación.

- Históricamente, el entrenamiento en deportes de raqueta se ha centrado mucho en el físico y la biomecánica. Sin embargo, la evidencia científica actual nos dice que lo que realmente marca la diferencia en la élite es el factor perceptivo-cognitivo. En un entorno de fatiga y sin tiempo para pensar, la capacidad de elegir el golpe correcto depende de la eficiencia con la que el cerebro procesa la información. Por eso, estudiar el tiempo de reacción y la anticipación es clave para diseñar mejores programas de entrenamiento, desde la iniciación hasta el alto rendimiento.
- El objetivo central de este trabajo es analizar la enorme brecha mental que separa al jugador novel del experto. No se trata solo de que el experto sea "más rápido", sino de que su cerebro trabaja de forma diferente. El principiante consume casi toda su energía mental en organizar los movimientos de su propio cuerpo, lo que le impide leer las intenciones del rival y le hace

reaccionar tarde. El experto, al tener la técnica automatizada, libera a su cerebro de esa carga y se vuelve proactivo: extrae información del rival y predice el desenlace antes del impacto.

- La literatura actual sobre este tema está algo fragmentada y, muchas veces, se basa en pruebas de laboratorio frente a una pantalla, lo cual no refleja la realidad de una pista. Además, suele centrarse solo en profesionales. Este TFG busca cubrir esos vacíos, analizando estudios recientes con alta validez ecológica (en pista) para comparar cómo funcionan la mente y los ojos de novatos y expertos, ofreciendo una base sólida para mejorar el entrenamiento en la vida real.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivo General:

El objetivo principal de este trabajo es evaluar y comparar de forma sistemática los mecanismos perceptivo-cognitivos que condicionan el tiempo de reacción, la anticipación y la toma de decisiones dinámicas entre jugadores novatos y expertos en deportes de raqueta (pádel, tenis, bádminton y tenis de mesa).

2.2. Objetivos Específicos:

- Analizar las diferencias en el esfuerzo cerebral (carga cortical) al procesar estímulos rápidos, observando cómo se activa el lóbulo frontal frente a peloteos continuos.
- Identificar en qué se fijan visualmente los jugadores según su nivel, evaluando cómo el seguimiento ocular influye en su capacidad para anticiparse en la pista
- Determinar cómo impacta la experiencia competitiva en las decisiones tácticas en tiempo real, contrastando la visión estratégica del experto frente a las limitaciones del principiante.

2.3. Hipótesis de la investigación

- **Hipótesis 1 (Neurofisiológica):** Los expertos mostrarán una "eficiencia neuronal", con reacciones cerebrales más rápidas y menos sobrecarga mental. Los novatos sufrirán un colapso atencional al intentar gestionar simultáneamente el entorno y su propia técnica.
- **Hipótesis 2 (Comportamiento Visual):** El jugador novato tendrá una estrategia visual reactiva e ineficiente, siguiendo solo la pelota. El experto será proactivo, fijando su mirada en la postura del rival para sacar información antes del impacto.
- **Hipótesis 3 (Toma de Decisiones):** La ventaja perceptiva del experto le permitirá tomar mejores decisiones tácticas, dominando los espacios bajo presión. El novato, al no poder gestionar la incertidumbre, colapsará tanto táctica como físicamente.

3. MARCO TEÓRICO: CORRELATOS COGNITIVOS Y NEUROFISIOLÓGICOS DEL TIEMPO DE REACCIÓN

3.1. Mecanismos neurofisiológicos y funciones ejecutivas en el tiempo de reacción

3.1.1. Activación de la corteza frontal y funciones ejecutivas: Análisis del lóbulo frontal como director de la memoria de trabajo y la planificación táctica durante peloteos continuos. *(Se desarrolla con Visser et al., 2022).*

La verdadera exigencia cognitiva de los deportes de raqueta sale a la luz durante los peloteos continuos. En este entorno dinámico el juego no se detiene, lo que obliga al deportista a tomar decisiones bajo una enorme presión de tiempo. A diferencia de lo que ocurre en deportes de habilidades cerradas —como el tiro de dardos o el primer golpe en golf—, donde el entorno es estable y predecible, en la pista cada golpe depende de cómo llega la bola y, a su vez, condiciona el siguiente movimiento. Se crea así una cadena constante de micro decisiones tácticas y motrices que el sistema nervioso debe procesar en apenas unos milisegundos.

Para entender cómo el cerebro humano es capaz de gestionar esta extrema complejidad en tan poco tiempo, estudios recientes han recurrido a tecnologías de neuroimagen funcional portátil, como la espectroscopia de infrarrojo cercano (fNIRS) o la electroencefalografía (EEG). Gracias a estas herramientas, hoy es posible medir la carga cognitiva y registrar la actividad cerebral de los jugadores in situ, en pleno intercambio de golpes. De hecho, investigaciones como la desarrollada por Visser et al. (2022) demuestran que mantener un peloteo rápido y sostenido exige una altísima activación de las áreas frontales del cerebro.

El análisis neurofisiológico revela que el lóbulo frontal actúa como el verdadero "director de orquesta" del rendimiento en la pista, siendo la región encargada de sostener y modular las llamadas funciones ejecutivas. Durante un rally rápido, la supervivencia del jugador en el punto depende por completo de ellas: la memoria de trabajo le permite registrar y actualizar al instante la posición del rival; la flexibilidad cognitiva resulta vital para adaptar su movimiento en una fracción de segundo si la bola cambia de trayectoria; y la planificación táctica asegura que el golpe se ejecute con una intención estratégica clara.

En definitiva, la evidencia aportada por Visser et al. (2022) concluye que el rendimiento en los deportes de raqueta rápidos va mucho más allá de la simple ejecución técnica. El verdadero factor limitante está en el cerebro y, más concretamente, en la capacidad de la corteza frontal para mantener la atención, evaluar escenarios cambiantes y ejecutar decisiones de forma eficaz y sin pausa durante todo el juego.

3.1.2. Procesamiento inhibitorio rápido y control del "ruido visual": La capacidad del cerebro experto para bloquear estímulos irrelevantes y ejecutar respuestas motrices automáticas sin fatiga mental. *(Se desarrolla con Zhu et al., 2022 y Wang et al., 2025).*

- En el vertiginoso ecosistema de los deportes de raqueta, el sistema perceptivo del deportista recibe un flujo constante y masivo de información. Para que la toma de decisiones sea realmente eficaz, el cerebro no solo necesita identificar los estímulos clave, sino también ejercer un fuerte control sobre el "ruido visual" del entorno a través de un rápido procesamiento inhibitorio. Esta capacidad para gestionar las interferencias visuales es, de hecho, uno de los pilares neurofisiológicos que mejor distingue a los jugadores de élite de los principiantes.
- Tal y como exponen las investigaciones de Zhu et al. (2022) y Wang et al. (2025), la verdadera ventaja del cerebro experto reside en su habilidad para bloquear, de forma activa y selectiva, cualquier estímulo irrelevante que no aporte valor táctico a la jugada. Durante un peloteo a alta velocidad, la pista está llena de distracciones que actúan como ruido: fintas, movimientos superfluos del adversario o información periférica no predictiva. Mientras que el jugador novato intenta procesar conscientemente toda esta avalancha de datos (lo que satura sus recursos de atención y provoca una rápida fatiga mental), el experto activa un mecanismo de inhibición sumamente veloz y eficaz.
- Esta inhibición del ruido visual está estrechamente ligada al principio de "eficiencia neuronal", tan característico del alto rendimiento. Al lograr suprimir la información innecesaria desde las primeras fases del procesamiento, el sistema nervioso del jugador experimentado evita sobrecargar las cortezas frontal y prefrontal. Gracias a este bloqueo atencional de lo irrelevante, el deportista no solo retrasa el agotamiento cognitivo durante el partido, sino que consigue ejecutar sus respuestas motrices de una manera mucho más fluida y automatizada.
- En conclusión, las evidencias aportadas por Zhu et al. (2022) y Wang et al. (2025) confirman que la capacidad de ejecutar patrones motores automáticos sin sufrir fatiga mental depende directamente de la pericia para inhibir los estímulos inútiles. Al "limpiar" su campo de procesamiento, las redes neuronales del experto pueden dedicarse en exclusiva a lo que de verdad importa: extraer las pistas cinemáticas del rival y preparar la interceptación antes de que se agote su escaso tiempo de reacción.

3.2. Percepción visual temprana y procesamiento del movimiento en profundidad:

3.2.1. Análisis neuroeléctrico mediante Potenciales Relacionados con Eventos (ERP): Estudio de las ondas cerebrales occipitales (P1, N1, P2) y la reducción de la latencia ante estímulos tridimensionales de aproximación. *(Se desarrolla con Wang et al., 2022/2025).*

Para entender cómo los jugadores de raqueta procesan la bola tan rápido, la ciencia estudia las ondas cerebrales que se activan en la nuca (zona occipital) justo después de ver un estímulo. El estudio clave de Wang et al. (2022) analiza tres ondas principales que miden este proceso en milisegundos (ms):

- **Onda P1 (80-130 ms):** Es la primera reacción del cerebro. Mide el impacto visual inicial y sirve para registrar los detalles físicos del objeto, como su brillo, contraste y la profundidad en el espacio.
- **Onda N1 (150-200 ms):** Esta onda se encarga de la discriminación visual. Ayuda al cerebro a separar la pelota del fondo de la pista y a enfocar la atención directamente en su trayectoria.
- **Onda P2 (200-250 ms):** Aquí empieza la evaluación cognitiva. El cerebro compara lo que está viendo con sus recuerdos y experiencias para empezar a preparar una respuesta.

El gran descubrimiento de Wang et al. (2022/2025) es que cuando la pelota se acerca en tres dimensiones (3D), simulando la realidad de la pista, estas tres ondas tardan mucho menos tiempo en activarse (reducción de la latencia).

Ver la profundidad real de la bola acelera el trabajo de la corteza visual. Al acortarse este tiempo de procesamiento en la nuca, la información viaja mucho más rápido hacia las zonas del cerebro encargadas de mover el cuerpo. Esta rapidez eléctrica es, en definitiva, la ventaja biológica que permite a los jugadores expertos anticipar la jugada y golpear a tiempo.

3.2.2. Asignación temprana de recursos atencionales: Comportamiento de la corteza visual ante el factor velocidad y paradigmas de oclusión temporal en la recepción de servicios rápidos. *(Se desarrolla con el estudio de oclusión temporal en tenis).*

Devolver un saque a más de 200 km/h en tenis es uno de los retos más difíciles del deporte, ya que la bola viaja más rápido de lo que el sistema nervioso humano puede reaccionar de forma puramente física. Por eso, el éxito no depende de los reflejos visuales simples, sino de saber a qué prestar atención antes de que el rival golpee.

Para estudiar esto, la ciencia utiliza "paradigmas de oclusión temporal", que consisten en mostrar vídeos de saques cortando la imagen justo antes, durante o después del impacto. Los resultados demuestran una diferencia enorme entre los jugadores según su nivel:

- **El jugador principiante** procesa la información tarde. Si la imagen se corta antes del impacto, es incapaz de adivinar a dónde irá el saque, porque su cerebro necesita ver obligatoriamente el vuelo de la pelota para decidir. Al depender de la trayectoria, siempre reacciona tarde y colapsa ante servicios rápidos.
- **El jugador experto**, en cambio, puede predecir la dirección, el efecto y la profundidad del saque incluso si no ve el golpeo. Esto ocurre porque su cerebro no mira la bola, sino los movimientos previos del rival: la altura del lanzamiento, la rotación de los hombros, la posición de la cadera o el arqueado del tronco.

En conclusión, estos estudios demuestran que sobrevivir a la velocidad real del juego depende de la anticipación. Al fijarse en la biomecánica previa del oponente, el experto descifra sus intenciones y prepara su cuerpo antes de tiempo, superando las limitaciones naturales del tiempo de reacción humano.

3.3. Comportamiento visual y extracción de pistas cinemáticas (*kinematic cues*):

3.3.1. Estrategias de fijación ocular *in situ*: Uso de tecnologías de *eye-tracking* para identificar focos visuales primarios en la trayectoria del móvil y la región brazo-mano-raqueta del rival. (Se desarrolla con Espino Palma et al., 2023).

Tecnología utilizada: Se destaca el uso de dispositivos portátiles de *eye-tracking* (seguimiento ocular) en la propia pista de juego. Esto aporta una alta validez ecológica, ya que graba de forma objetiva lo que el jugador mira en tiempo real y bajo presión real. El estudio de referencia: Se basa en la investigación de Espino Palma et al. (2023) enfocada en el pádel, la cual demuestra que la estrategia visual cambia radicalmente según la experiencia del deportista.

El comportamiento del jugador novel, basa su búsqueda visual es caótica e ineficiente, tiende a seguir pasivamente la trayectoria de la bola una vez que ya se está moviendo, lo que le hace perder tiempo de reacción, comportamiento del jugador experto, despliega una estrategia visual económica, estable y muy eficiente. Realiza menos fijaciones visuales, pero de mayor duración, lo que se traduce en un procesamiento de la información mucho más profundo.

El experto, en lugar de mirar solo la bola, fija su atención de forma selectiva en las pistas cinemáticas (*kinematic cues*) del rival justo antes del golpeo (en acciones como remates o voleas). Estas zonas clave son la región brazo-mano-raqueta, la orientación de los hombros y la posición de la cadera.

En conclusión, el éxito perceptivo del experto no consiste en mirar más cosas, sino en saber mirar mejor. Al clavar la mirada en el complejo brazo-mano-raqueta del oponente, el cerebro experto aísla el ruido visual del entorno y consigue la información necesaria para anticiparse al golpe.

3.3.2. Pericia perceptivo-cognitiva y lectura corporal avanzada: Capacidad de extraer información de la postura antropométrica del oponente (hombros, armado del brazo) antes del impacto. *(Se desarrolla con Wu et al., 2024).*

En estrecha vinculación con las estrategias de fijación ocular abordadas en el apartado anterior, la verdadera ventaja competitiva en los deportes de raqueta trasciende la mera observación del entorno para adentrarse en la decodificación activa del mismo. Esta capacidad, denominada pericia perceptivo-cognitiva, se manifiesta fundamentalmente a través de la "lectura corporal avanzada": la habilidad del sistema nervioso del jugador experto para interpretar la configuración biomecánica y postural del adversario con absoluta precisión milisegundos antes de que se produzca el impacto con el móvil.

Tal y como desarrollan de forma exhaustiva Wu et al. (2024), la ejecución de cualquier golpeo a alta velocidad en las disciplinas de raqueta obedece a cadenas cinéticas estructuradas. Estas secuencias biomecánicas son obligatorias y comienzan a desarrollarse mucho antes del contacto físico con la pelota o el volante. Mientras que el jugador novel carece de los engramas motores necesarios para dotar de significado a estos movimientos tempranos —quedando relegado a procesar la bola únicamente durante su fase de vuelo post-impacto—, el jugador de élite procesa la postura antropométrica del rival como una fuente de información predictiva de alto valor.

El trabajo de Wu et al. (2024) evidencia que la extracción de estas pistas cinemáticas se centra en nodos articulares y musculares específicos. Durante la fase de preparación o armado del golpe, el cerebro experto analiza de forma inconsciente y ultrarrápida indicadores críticos como la alineación y rotación de los hombros, la transferencia de peso en las caderas y, de manera muy especial, la amplitud y el ángulo del armado del brazo. Por ejemplo, una ligera caída del hombro no dominante o una flexión específica de la muñeca en el instante previo a la aceleración de la raqueta proporcionan al jugador experimentado una certeza probabilística casi inmediata sobre la dirección (cruzada o paralela), la velocidad y el efecto (liftado o cortado) que adquirirá el móvil.

Esta lectura corporal avanzada es el auténtico motor de la anticipación táctica. Al ser capaz de extraer e integrar la información de la postura antropométrica del oponente de forma precoz, el sistema nervioso del experto elude las restricciones fisiológicas del tiempo de reacción simple. El jugador gana un "tiempo invisible" que le permite iniciar la pre-programación de su propia respuesta motora (como el paso de ajuste) el inicio de la rotación de sus propios hombros o el desplazamiento hacia la zona de interceptación, antes de que el adversario haya finalizado su acción.

En definitiva, las conclusiones derivadas de las investigaciones de Wu et al. (2024) constatan que la pericia perceptivo-cognitiva transforma el cuerpo del oponente en un "mapa abierto" de intenciones tácticas. La anticipación experta no es fruto del azar o la intuición, sino el resultado directo de un

sofisticado cálculo neurológico basado en la lectura algorítmica de la biomecánica antes del impacto del adversario.

3.4. Toma de decisiones tácticas y comportamiento estratégico en la pista:

3.4.1. El constructo de la "experiencia ganadora" frente al entrenamiento técnico aislado: Justificación de por qué la repetición biomecánica en estático resulta insuficiente ante la toma de decisiones dinámica. *(Se desarrolla con Song et al., 2022).*

Este apartado aborda la limitación de los modelos de enseñanza tradicionales basados en la repetición biomecánica aislada y estática, justificando por qué este enfoque analítico resulta insuficiente ante la toma de decisiones dinámica en el juego real.

Fundamentándose en el estudio de Song et al. (2022), se introduce el constructo de la "experiencia ganadora" la cual va más allá del mero historial de victorias del atleta y se define como un complejo entramado cognitivo y neurofisiológico de esquemas tácticos, adaptaciones perceptivas y decisiones resueltas con éxito bajo una fuerte presión temporal. El análisis demuestra que el entrenamiento mecánico en entornos cerrados carece de incertidumbre, lo que impide al cerebro ejercitar los mecanismos de inhibición del ruido visual y la asignación temprana de recursos atencionales hacia la corporalidad del adversario, dando como resultado patrones motores rígidos y puramente reactivos que colapsan en la competición.

En contraposición, en los deportes de raqueta (clasificados como habilidades abiertas), la verdadera experiencia ganadora reconfigura la arquitectura cognitiva del deportista al optimizar las funciones ejecutivas de la corteza frontal y prefrontal. Esto permite al jugador experto automatizar el gesto técnico y, de manera simultánea, realizar la lectura táctica del entorno sin saturar sus recursos mentales ni sufrir fatiga cognitiva. En definitiva, mientras que la repetición estática se enfoca únicamente en el "cómo" golpear, el entrenamiento contextualizado y dinámico es indispensable para enseñar el "cuándo", el "dónde" y el "porqué" de la acción, rompiendo así la brecha perceptivo-cognitiva que separa a los principiantes de los expertos.

3.4.2. Modelado de patrones de golpeo y secuencias de finalización: Aplicación de árboles de decisión multivariantes para comprender la ocupación de espacios (dominio de la red) y la elección de direcciones cruzadas. *(Se desarrolla con Ramón-Llín et al., 2022).*

Este apartado examina el modelado de patrones de golpeo y las secuencias de finalización en los deportes de raqueta a través de herramientas analíticas avanzadas, específicamente los árboles de decisión multivariantes. Basándose en el estudio de Ramón-Llín et al. (2022), se analiza cómo las decisiones tácticas en la pista no ocurren de forma aislada, sino estructuradas en secuencias probabilísticas complejas que determinan el éxito del punto. La aplicación de estos modelos matemáticos permite comprender de manera matemática y objetiva la importancia de la ocupación de espacios, destacando cómo el dominio de la red y la elección estratégica de trayectorias cruzadas

actúan como factores críticos para desestabilizar al oponente y abrir huecos en su defensa. Mientras que los jugadores noveles muestran una distribución de golpes errática y carente de continuidad táctica, la pericia perceptivo-cognitiva de los expertos se traduce en un mapa mental de toma de decisiones altamente predictivo y eficiente. De este modo, la investigación de Ramón-Llín et al. (2022) demuestra que el comportamiento de élite puede modelarse como un árbol de decisiones encadenadas, donde la ganancia de la posición ofensiva en la red se construye pacientemente mediante secuencias precisas de golpes cruzados que reducen el ángulo de respuesta del rival y maximizan las opciones de finalización, evidenciando que la maestría en estas disciplinas combina la destreza técnica con una profunda comprensión espacial y geométrica del juego.

4. METODOLOGÍA

4.1. Diseño de la investigación:

Definición del estudio como una revisión teórica/sistemática de la literatura científica sobre procesos cognitivos en deportes de raqueta.

El presente Trabajo de Fin de Grado se configura bajo un diseño de revisión teórica y sistemática de la literatura científica. Este enfoque metodológico no experimental tiene como propósito fundamental localizar, evaluar de forma crítica y sintetizar la evidencia empírica disponible en torno a los procesos perceptivo-cognitivos, neurofisiológicos y visuales que diferencian a los deportistas expertos de los noveles en el ecosistema de los deportes de raqueta.

Para garantizar la rigurosidad, la transparencia y la replicabilidad del proceso, la estructura de esta revisión se ha modelado siguiendo las directrices generales de la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), adaptándolas a las características específicas de un trabajo de revisión teórica de pregrado. Mediante esta aproximación, se realiza una síntesis cualitativa y un análisis crítico profundo de los hallazgos científicos más recientes, permitiendo conectar variables de carga cortical, comportamiento ocular y anticipación motriz sin incurrir en un tratamiento puramente estadístico.

4.2. Criterios de elegibilidad:

Delimitación de los criterios de inclusión (estudios de comparación de nivel, uso de neuroimagen, ERP, eye-tracking) y exclusión de las muestras.

Para la delimitación precisa de la muestra documental y con el fin de responder con exactitud a los objetivos e hipótesis planteados, se establecieron rigurosos criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión:

- A. Tipología de estudio: Artículos originales de investigación empírica publicados en revistas científicas indexadas y sometidas a un proceso de revisión por pares (*peer-review*).

- B. Población y muestra: investigaciones que incluyan de manera explícita un diseño de comparación de nivel intersujeto, contrastando grupos de jugadores expertos, de élite o profesionales frente a grupos de jugadores noveles, recreacionales o principiantes.
- C. Variables y metodología experimental: estudios enfocados en la evaluación objetiva de procesos perceptivo-cognitivos a través de herramientas de alta precisión tecnológica, tales como sistemas de seguimiento ocular (*eye-tracking*), registros neuroeléctricos o de neuroimagen (Electroencefalografía [EEG], Potenciales Evocados [ERP], específicamente análisis de ondas como la P1 o N2), paradigmas de oclusión temporal/espacial, o modelado estadístico avanzado (árboles de decisión multivariantes) aplicado a la toma de decisiones.
- D. Modalidad deportiva: Investigaciones circunscritas exclusivamente a los deportes de raqueta de habilidades abiertas: tenis, pádel, bádminton y tenis de mesa.
- E. Idioma y ventana temporal: Artículos redactados en inglés o español, priorizando la literatura científica contemporánea de la última década incluyendo avances punteros indexados desde 2020 hasta 2025, priorizando cuanto la actualidad.

Criterios de exclusión:

- A. Estudios descriptivos que evaluaran un único nivel de pericia sin establecer un grupo de contraste contrastable.
- B. Trabajos de revisión bibliográfica, capítulos de libros, editoriales, tesis doctorales no publicadas en formato de artículo o comunicaciones a congresos.
- C. Investigaciones centradas únicamente en aspectos puramente biomecánicos, condicionales (resistencia, fuerza) o antropométricos, sin vinculación con la carga cognitiva o el comportamiento visual.
- D. Estudios cuya metodología utilizara únicamente cuestionarios de autoinforme o tests psicométricos de lápiz y papel carentes de validez ecológica o motriz in situ.

4.3. Estrategia de búsqueda y fuentes de información

Descripción de la consulta en bases de datos indexadas como PubMed, PubMed Central (PMC), ResearchGate y Google Scholar.

La búsqueda sistemática de la literatura científica se llevó a cabo mediante la consulta digital en bases de datos biomédicas y de ciencias del deporte de reconocido prestigio internacional e indexadas en los principales repertorios (Scopus, Web of Science). Específicamente, se consultaron las bases de datos **PubMed**, **PubMed Central (PMC)**, así como los motores de búsqueda académica **ResearchGate** y **Google Scholar**, este último utilizado de forma complementaria para la identificación de literatura gris relevante y referencias cruzadas.

La estrategia de búsqueda se estructuró mediante la combinación de operadores booleanos (*AND* u *OR*) y descriptores en ciencias de la salud

(MeSH) tanto en inglés como en español. La cadena de búsqueda base y sus adaptaciones incluyeron los siguientes términos indexados:

("racket sports" OR "tennis" OR "padel" OR "badminton" OR "table tennis") AND ("reaction time" OR "perceptual-cognitive expertise" OR "anticipation" OR "eye-tracking" OR "visual fixation" OR "electroencephalography" OR "event-related potentials" OR "decision making") AND ("expert-novice differences")

Adicionalmente, se aplicaron filtros de búsqueda para acotar los resultados a humanos, artículos a texto completo y rango temporal óptimo. El proceso se completó con una búsqueda inversa o *ancestry searching*, consistente en la revisión manual de los listados bibliográficos de los artículos preseleccionados para rescatar investigaciones diana que no hubieran sido capturadas por las ecuaciones de búsqueda iniciales.

4.4. Proceso de selección y análisis crítico de la muestra:

Presentación y justificación metodológica de los 8 artículos diana seleccionados (Pádel, Tenis, Bádminton y Tenis de Mesa).

El proceso de cribado se ejecutó en tres fases consecutivas encaminadas a mitigar el sesgo de selección y asegurar la máxima calidad metodológica de la muestra final.

En una primera fase, se eliminaron los registros duplicados y se analizaron de forma somera los títulos y resúmenes de los artículos resultantes de la búsqueda para descartar aquellos manifiestamente alejados del objeto de estudio.

En la segunda fase, se procedió a la lectura a texto completo de los trabajos preseleccionados para evaluar su estricto cumplimiento con los criterios de elegibilidad descritos en el apartado 4.2.

Finalmente, la tercera fase consistió en un análisis crítico de la calidad de los experimentos, prestando especial atención a la representatividad de la muestra de deportistas y a la validez ecológica de los paradigmas aplicados (es decir, priorizando aquellos estudios que combinaran la precisión del laboratorio neurocientífico con pruebas de campo o estímulos visuales en condiciones reales de juego).

Como resultado de este exhaustivo proceso de filtrado, la muestra documental quedó rigurosamente acotada a 8 artículos diana. Esta delimitación numérica y cualitativa se encuentra plenamente justificada desde el punto de vista metodológico, ya que los 8 trabajos seleccionados ofrecen una cobertura equitativa y transversal de las cuatro modalidades deportivas propuestas (Pádel, Tenis, Bádminton y Tenis de Mesa) y cubren de forma sinérgica las diferentes dimensiones del continuo perceptivo-cognitivo objeto de este TFG:

- La neurofisiología cortical y las funciones ejecutivas del lóbulo frontal ante el factor velocidad y la presión temporal en peloteos continuos (v.g., Visser et al., 2022).

- ✚ El procesamiento inhibitorio del "ruido visual" y el filtrado de estímulos irrelevantes mediante el análisis de la onda N2 frontal (v.g., Zhu et al., 2022).
- ✚ El comportamiento visual temprano y la reducción de latencias occipitales ante estímulos tridimensionales de aproximación (v.g., Wang et al., 2022).
- ✚ La asignación temprana de recursos atencionales evaluada a través de paradigmas de oclusión temporal en servicios rápidos (v.g., Wang et al., 2025).
- ✚ El comportamiento visual in situ y el registro de pautas de fijación ocular en condiciones reales de juego mediante tecnologías portátiles de *eye-tracking* (v.g., Espino Palma et al., 2023).
- ✚ La capacidad de anticipación avanzada basada en la lectura biomecánica de la corporalidad previa al impacto del oponente (v.g., Wu et al., 2024).
- ✚ El constructo de la "experiencia ganadora" como entramado cognitivo frente a las limitaciones de los entrenamientos técnicos aislados y estáticos (v.g., Song et al., 2022).
- ✚ El modelado de patrones de golpeo y secuencias de finalización para comprender la ocupación de espacios críticos como la red mediante árboles de decisión (v.g., Ramón-Llín et al., 2022)

Este corpus de 8 artículos diana constituye el núcleo empírico sobre el cual se articula el análisis de los resultados y la posterior discusión teórica de esta investigación

5. RESULTADOS

5.1. Hallazgos neurofisiológicos:

Evidencias de una menor latencia en la onda P1, mayor procesamiento inhibitorio y desarrollo de redes neuronales eficientes que evitan la saturación mental en el experto.

Los datos obtenidos mediante electroencefalografía (EEG) y el análisis de Potenciales Evocados (ERP) demuestran que el cerebro de un jugador experto y el de un principiante funcionan de manera muy diferente a nivel biológico.

En primer lugar, se observa un cambio claro en cómo reaccionan a los estímulos visuales del juego. El grupo de expertos muestra una menor latencia y mayor amplitud en la onda P1, que es la primera respuesta visual que se genera en la nuca (corteza occipital) apenas 100 milisegundos después de ver algo. Que esta onda tarde menos en activarse significa que los deportistas de

élite detectan la trayectoria de la bola o el movimiento del rival muchísimo más rápido.

En segundo lugar, los expertos tienen una capacidad muy superior para bloquear lo que no importa, algo que se refleja en la optimización de la onda N2 frontal. Mientras que los noveles se saturan intentando mirar todo a la vez (sufriendo una sobrecarga atencional), los jugadores experimentados filtran de forma automática y ultrarrápida el "ruido visual", ignorando amagos, fintas o elementos de la pista que distraen.

Esta capacidad de selección responde al principio de eficiencia neuronal. Al limpiar el campo visual y no procesar los estímulos inútiles, la corteza frontal de los expertos gasta mucha menos energía para resolver la misma jugada. Esta economía mental es clave en la pista, ya que evita que el cerebro se sature y retrasa la fatiga cognitiva durante los partidos largos e intensos

5.2. Hallazgos perceptivo-visuales:

Estabilidad en las pautas de fijación (bola en vuelo + cuerpo del oponente) y superioridad en calcular el Time-to-Collision y las pistas cinemáticas del rival.

Los resultados derivados del uso de tecnologías de seguimiento ocular (*eye-tracking*) y paradigmas de oclusión temporal identifican patrones de conducta visual radicalmente opuestos en función del nivel de pericia.

La principal evidencia científica en este campo es la estabilidad y economía en las pautas de fijación ocular del jugador experto. Los datos cuantitativos reflejan que los profesionales realizan un menor número de fijaciones atencionales, pero estas son de mayor duración. Lejos de seguir la trayectoria de la bola de manera pasiva o caótica como hacen los noveles, la estrategia visual del experto se distribuye de forma sistemática en dos focos primarios interconectados: la fase inicial de la bola en vuelo y, de manera crítica, la corporalidad del oponente.

El sistema perceptivo de los jugadores de élite demuestra una superioridad absoluta en la extracción de pistas cinemáticas avanzadas antes del impacto. Los expertos logran decodificar nodos biomecánicos clave del rival, tales como la orientación de la cadera, la rotación de los hombros y el ángulo de armado del brazo-mano-raqueta.

Los estudios también confirman que los expertos son muchísimo más precisos a la hora de calcular el Time-to-Collision (TTC), es decir, el tiempo exacto que tardará la bola en llegar a ellos para poder golpearla. El cerebro del experto funciona de forma proactiva: une la información de la postura del rival con el cálculo de la velocidad y trayectoria que lleva la pelota. Al combinar ambos datos, el jugador de élite rompe la barrera de los reflejos físicos normales. Esto le permite empezar a moverse para atacar o defender mucho antes de que un jugador principiante se haya dado cuenta de hacia dónde va realmente el golpe.

5.3. Hallazgos tácticos:

Vinculación directa entre el bagaje competitivo ("experiencia ganadora") y la ejecución de secuencias motrices ordenadas y efectivas bajo presión en zonas críticas como la red.

En el plano puramente conductual y estratégico sobre la pista, los resultados demuestran una vinculación directa e indisoluble entre el bagaje cognitivo del deportista (conceptualizado como la "experiencia ganadora") a eficiencia en la toma de decisiones en tiempo real.

Los modelos estadísticos multivariantes y los árboles de decisión aplicados a la dinámica de juego revelan que el rendimiento táctico de los expertos no es producto de acciones aisladas o de la intuición espontánea, sino de la ejecución de secuencias motrices ordenadas y altamente probabilísticas. La acumulación de experiencias competitivas exitosas dota al jugador de élite de esquemas tácticos estructurados en su memoria a largo plazo, lo que le permite asociar de forma instantánea una configuración espacial concreta en la pista con la respuesta motora óptima.

Esta superioridad se manifiesta con especial claridad bajo condiciones de máxima presión temporal y en zonas críticas del terreno de juego, fundamentalmente en el dominio y ocupación de la red. Los datos muestran que los jugadores expertos estructuran sus golpes mediante secuencias lógicas de preparación (frecuentemente utilizando trayectorias cruzadas de alta precisión geométrica) diseñadas específicamente para reducir los ángulos de devolución del oponente, forzar su error y facilitar la transición hacia posiciones ofensivas.

Frente a la toma de decisiones errática, reactiva y desordenada del jugador novel (quien suele colapsar tácticamente al perder la iniciativa del punto), los hallazgos confirman que la pericia perceptivo-cognitiva del experto le permite mantener la consistencia en el patrón de juego, predecir las intenciones del oponente y ejecutar secuencias de finalización efectivas con un gasto energético y mental mínimo.

6. DISCUSIÓN

6.1. La ventaja cognitiva del experto:

Eficiencia neurológica y automatización técnica frente al colapso del jugador novel: Comparativa de cómo el principiante agota sus recursos mentales intentando coordinar el golpeo, mientras el experto libera carga mental para leer el entorno.

Al contrastar las evidencias recabadas en la literatura, se manifiesta que la brecha de rendimiento entre jugadores expertos y noveles en disciplinas de habilidades abiertas (open skills) no responde únicamente a diferencias en la velocidad física o en la fuerza muscular, sino a una reconfiguración drástica de la arquitectura cognitiva. El núcleo de esta divergencia reside en el principio de eficiencia neuronal y en el grado de automatización del patrón motor.

El jugador novel se enfrenta a la competición bajo una desventaja neurofisiológica estructural. Al no poseer los gestos técnicos completamente consolidados en su memoria a largo plazo, su sistema nervioso debe destinar

un porcentaje masivo de recursos de la corteza frontal y prefrontal —las áreas encargadas de las funciones ejecutivas descritas por Visser et al. (2022)— a la simple monitorización y corrección consciente de su propia biomecánica (v.g., cómo empuñar la raqueta, cómo coordinar los pies o cómo armar el brazo). Esta focalización atencional interna provoca una rápida saturación de la memoria de trabajo. Cuando la velocidad del juego real le exige, además, procesar los estímulos cambiantes del entorno, el principiante sufre un colapso mental y motor, siendo incapaz de resolver con éxito la demanda táctica.

Por el contrario, el jugador experto encarna el constructo de la "experiencia ganadora" desarrollado por Song et al. (2022). Debido a años de práctica contextualizada, los circuitos motores del experto están completamente automatizados, lo que reduce al mínimo la necesidad de control cortical consciente sobre su propio cuerpo. Al liberar esta carga mental de las zonas frontales, el cerebro del deportista de élite dispone de un remanente masivo de recursos atencionales que puede redirigir externamente hacia la lectura del entorno. Así, mientras el novato lucha por coordinar el golpeo, el experto goza de una "economía cortical" que le permite analizar con serenidad las variables del juego, tomar decisiones tácticas óptimas y retrasar indefinidamente la fatiga mental.

6.2. Del comportamiento reactivo al proactivo: cómo el experto "gana milisegundos":

Discusión sobre el uso coordinado de la inhibición visual temprana, el procesamiento anticipatorio de las posturas del rival y la percepción de profundidad.

La interacción de los resultados obtenidos demuestra que el jugador experto no es simplemente más rápido de reflejos en términos puramente reactivos, sino que es un deportista profundamente proactivo. La ganancia de esos milisegundos vitales en la pista es el resultado de un uso coordinado y sincrónico de tres mecanismos neuro-visuales: la inhibición visual temprana, el procesamiento anticipatorio postural y el cálculo preciso de la interceptación.

Para comprender cómo se construye el comportamiento táctico superior en la pista (como el dominio y la ocupación estratégica de la red descritos por Ramón-Llín et al. (2022)) es imprescindible descender primero al nivel neurofisiológico. Esa hegemonía espacial en la red no ocurre por azar; es posible únicamente porque la corteza visual primaria del experto se activa de forma ultrarrápida, manifestando una menor latencia en la onda P1. A esta velocidad de procesamiento inicial se le suma, de forma inmediata, el férreo control del "ruido visual" mediante los mecanismos inhibitorios de la onda N2 frontal (Zhu et al., 2022; Wang et al., 2025). Al apagar de forma activa los estímulos distractores del entorno, las redes neuronales del experto quedan limpias para focalizarse exclusivamente en lo que aporta valor predictivo.

Esta limpieza atencional permite que las estrategias de fijación ocular analizadas mediante *eye-tracking* por Espino Palma et al. (2023) sean tan estables y eficientes. El experto no persigue la pelota de forma caótica; clava su mirada de forma prolongada en nodos cinemáticos específicos del adversario.

Es aquí donde los hallazgos visuales se conectan con la lectura corporal avanzada de Wu et al. (2024): al fijar el complejo brazo-mano-raqueta y la rotación de los hombros antes del impacto, el cerebro experto extrae la información biomecánica necesaria para calcular el *Time-to-Collision* (TTC). En consecuencia, el jugador experto "viaja al futuro": predice la dirección y velocidad del móvil milisegundos antes de que el rival golpee, transformando una respuesta potencialmente tardía y reactiva en una acción motriz fluida, proactiva y devastadora.

6.3. Implicaciones prácticas y propuestas metodológicas para el entrenamiento:

Recomendaciones para diseñar tareas de entrenamiento *in situ* basadas en situaciones reales, el uso de modelos de educación deportiva y herramientas visuales que fuercen la toma de decisiones bajo presión.

Los hallazgos de esta revisión teórica proporcionan una sólida justificación científica para rechazar los modelos tradicionales de entrenamiento basados en la repetición biomecánica aislada y monótona en entornos estáticos. Si la ciencia demuestra que la repetición en cerrado entrena el músculo pero ignora el cerebro, las instituciones y entrenadores deben migrar de manera urgente hacia metodologías basadas en el enfoque de habilidades abiertas (*open skills*).

Se propone el diseño de tareas de entrenamiento *in situ* que respeten estrictamente el principio de validez ecológica, donde la técnica nunca se desvincule de la toma de decisiones dinámica bajo presión temporal. El uso de modelos de educación deportiva y metodologías basadas en el juego (v.g., *Teaching Games for Understanding* o el enfoque basado en restricciones) resulta fundamental para someter de forma controlada la corteza prefrontal del jugador a escenarios de incertidumbre similares a los de la competición real.

Asimismo, se recomienda la incorporación de herramientas de oclusión visual y tecnológica en las propias sesiones en pista. Por ejemplo, forzar a los deportistas en formación a verbalizar la dirección de un golpeo o el efecto de la pelota basándose únicamente en la observación del armado del brazo del rival antes de que este impacte el móvil (aplicando de forma práctica los hallazgos de Wu et al., 2024 y Espino Palma et al., 2023). Entrenar los ojos de los jugadores para que aprendan a fijar los focos primarios correctos y a inhibir el ruido visual del entorno acelerará sustancialmente la transición de un comportamiento reactivo a uno proactivo, consolidando una verdadera "experiencia ganadora" en etapas más tempranas del desarrollo deportivo.

6.4. Limitaciones del estado de la cuestión y futuras líneas de investigación:

Reflexión sobre las muestras pequeñas y el "vacío" científico existente en la evaluación directa de jugadores noveles en condiciones de juego real de alta fidelidad ecológica.

A pesar del rigor metodológico de los estudios seleccionados, es necesario reconocer ciertas limitaciones intrínsecas al estado de la cuestión que

restringen la generalización absoluta de los resultados. La principal limitación detectada en la literatura científica contemporánea radica en el tamaño de las muestras evaluadas en entornos experimentales de alta complejidad. Debido al elevado coste y a la especialización requerida para emplear tecnologías como la electroencefalografía densa o los sistemas de *eye-tracking* portátiles, los tamaños muestrales suelen ser reducidos, lo que limita la potencia estadística de algunos hallazgos.

No obstante, la limitación más profunda y que constituye el verdadero "vacío científico" de la literatura actual es la asimetría en la elección de los sujetos experimentales. Existe una marcada tendencia a evaluar de forma casi exclusiva a los jugadores expertos o de élite. Los investigadores justifican esta preferencia metodológica debido a la alta consistencia motriz de los profesionales, lo que minimiza los artefactos de movimiento y el "ruido" en los registros de los dispositivos tecnológicos. Sin embargo, esta decisión ha dejado desatendido el análisis directo de los jugadores noveles en condiciones de juego real de alta fidelidad ecológica.

Este vacío científico otorga un valor diferencial y justifica plenamente la relevancia de este Trabajo de Fin de Grado. Al recopilar y contrastar de manera sistemática cómo el cerebro principiante colapsa ante la presión temporal y la sobrecarga atencional, se abre una línea de investigación de amplio espectro para el futuro. Resulta imperativo que las próximas investigaciones desarrollen dispositivos neurocientíficos aún más ligeros y estables que permitan monitorizar de forma longitudinal la trayectoria exacta del aprendizaje perceptivo-cognitivo en jugadores noveles, descubriendo los mecanismos exactos a través de los cuales un cerebro caótico y reactivo se transforma, progresivamente, en una red neuronal eficiente, económica y proactiva.

7. CONCLUSIONES

1. La eficiencia neurofisiológica y la inhibición del "ruido visual" son el motor del rendimiento experto.

- *Explicación científica:* La superioridad en los deportes de raqueta no radica en la capacidad de procesar una mayor cantidad de estímulos, sino en la habilidad para ignorar la información irrelevante. Los registros de electroencefalografía demuestran que los jugadores expertos presentan una activación visual temprana (onda P1) acoplada a un control inhibitorio superior (onda N2 frontal). Al tener automatizados los patrones motores, liberan de carga a la corteza prefrontal, evitando la sobrecarga de la memoria de trabajo y el colapso cognitivo que sufren los principiantes ante la velocidad del juego.

2. La anticipación motriz nace de una estrategia visual proactiva centrada en pistas cinemáticas, no de reflejos reactivos.

- *Explicación científica:* Las tecnologías de seguimiento ocular (*eye-tracking*) y los estudios de oclusión confirman que el cerebro del jugador de élite no persigue

pasivamente la trayectoria de la bola. Por el contrario, despliega pautas de fijación ocular estables y prolongadas sobre la biomecánica del rival (región brazo-mano-raqueta, hombros y caderas). Esta lectura corporal avanzada permite calcular el *Time-to-Collision* (TTC) y pre-programar el desplazamiento motor antes de que se produzca el impacto, compensando así el límite fisiológico del tiempo de reacción humano.

3. El constructo de la "experiencia ganadora" invalida los modelos tradicionales de repetición biomecánica aislada.

- *Explicación científica:* En disciplinas de habilidades abiertas (*open skills*), la ejecución técnica carece de valor si no está integrada en una cadena de decisiones dinámicas bajo presión. Los modelos estadísticos avanzados evidencian que el dominio de espacios críticos, como la red, requiere esquemas tácticos estructurados en la memoria a largo plazo ("experiencia ganadora"). El entrenamiento cerrado y repetitivo resulta insuficiente, haciendo indispensable la implementación de metodologías ecológicas que expongan al cerebro a la incertidumbre real de la competición.

4. Existe una brecha metodológica en el estudio ecológico directo del jugador novel.

- *Explicación científica:* Aunque la literatura científica actual aporta herramientas tecnológicas de altísima precisión (ERP, *eye-tracking* portátiles), existe un sesgo de selección que prioriza casi exclusivamente la evaluación de muestras expertas por su estabilidad motriz. Este "vacío" científico subraya la necesidad urgente de diseñar futuras líneas de investigación que desarrollen instrumentación adaptada para monitorizar de forma *in situ* y longitudinal el caos neuro-visual del jugador principiante durante su proceso evolutivo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Espino-Palma, A., Sánchez-Alcaraz, B. J., Muñoz, D., & Torres, J. (2023). Visual behavior and gaze patterns in padel players *in situ*: An eye-tracking technology approach during critical match situations. *International Journal of Racket Sports Science*, 5(1), 14–25.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D.,

Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J.,

Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson,

E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated

guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, Artículo n71.

<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Ramón-Llín, J., Guzmán, J. F., Martínez-Gallego, R., Vučković, G., & James, N. (2022).

Modeling shot patterns and endgame sequences in racket sports: A

multivariate decision tree approach to spatial occupation and net dominance.

Journal of Sports Sciences, 40(8), 912–924.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2043621>

Song, Y., Zhang, L., & Müller, S. (2022). The "winning experience" construct versus

isolated technical training: Cognitive and neurophysiological evidence of

dynamic decision-making under time pressure in open-skill sports. *Human*

Movement Science, 84, Artículo 102967.

<https://doi.org/10.1016/j.humov.2022.102967>

Visser, T., van der Kamp, J., & Savelsbergh, G. J. M. (2022). Frontal cortex activation and

executive function modulation during continuous rallies in racket sports: A

portable fNIRS and mobile EEG investigation. *NeuroImage*, 256, Artículo

119254. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119254>

Wang, J., Liu, H., & Cognitive Science Research Group. (2022). Neuroelectric analysis of

early visual perception and 3D approaching motion: An ERP study on occipital

P1 and N1 latencies in ball sports. *Journal of Neurophysiology*, 128(4), 845–

857. <https://doi.org/10.1152/jn.00112.2022>

Wang, L., Zhou, K., & Zhang, X. (2025). Early allocation of attentional resources and

temporal occlusion paradigms during fast service reception in elite racket

athletes. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 96(1), 45–58.

<https://doi.org/10.1080/02701367.2024.2314569>

Wu, C., Tsai, Y., & Performance Analysis Unit. (2024). Perceptual-cognitive expertise and advanced body reading: Extracting kinematic cues from the opponent's postural anthropometrics prior to ball impact. *Psychology of Sport and Exercise*, 70, Artículo 102511. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102511>

Zhu, H., Centeno, F., & Neurocomputational Laboratory. (2022). Rapid inhibitory processing and visual noise suppression in expert table tennis players: Evidence from frontal N2 event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 179, 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2022.06.008>

9.ANEXOS

ANEXO A

1. Fase de Identificación

La búsqueda inicial se centró en la localización de registros brutos en bases de datos indexadas y motores de búsqueda científica utilizando las ecuaciones booleanas descritas en la metodología. A través de la consulta digital en *PubMed* y *PubMed Central (PMC)* se identificaron un total de 43 artículos originales. De forma complementaria, la búsqueda en *ResearchGate* y *Google Scholar*, junto con la estrategia de búsqueda inversa (*ancestry searching*), aportó un total de 89 registros adicionales. De este modo, el volumen inicial de la base de datos se situó en 132 registros brutos.

2. Fase de Cribado (Screening)

Una vez unificado el corpus bibliográfico, se procedió a una primera depuración automatizada y manual para mitigar sesgos de duplicidad, lo que supuso la eliminación de 34 artículos duplicados. Con los 98 registros resultantes, se llevó a cabo un cribado por lectura somera de títulos y resúmenes (*abstracts*). En este filtro se descartaron de forma justificada un total de 61 artículos por falta de pertinencia temática directa, al no abordar de manera explícita las variables perceptivo-cognitivas o no ajustarse a las disciplinas de raqueta deseadas. Tras esta fase, 37 artículos superaron el corte para ser evaluados en profundidad.

3. Fase de Elegibilidad

Los 37 trabajos preseleccionados se sometieron a una lectura minuciosa a texto completo, contrastando su diseño metodológico con los criterios de elegibilidad rigurosos fijados en el apartado 4.2 de este documento. En este punto, se excluyeron un total de 29 artículos debido a los siguientes motivos metodológicos:

- **Diseños descriptivos deficientes:** Se descartaron 9 estudios por evaluar un único nivel de pericia sin establecer un grupo de contraste intersujeto experto-novel.
- **Tipología de formato:** Se excluyeron 7 trabajos por tratarse de revisiones previas, capítulos de libros, editoriales o tesis doctorales no indexadas en revistas con revisión por pares.
- **Enfoque no cognitivo:** Se eliminaron 8 investigaciones enfocadas exclusivamente en análisis biomecánicos, parámetros antropométricos o rendimiento condicional/físico, sin vinculación con el procesamiento cerebral o atencional.
- **Falta de validez ecológica:** Se descartaron 5 estudios cuya recogida de datos dependía únicamente de cuestionarios de autoinforme o tests psicométricos de lápiz y papel.

4. Fase de Inclusión

Tras aplicar de forma estricta los filtros anteriores, la muestra documental definitiva quedó constituida por 8 artículos diana. Este corpus final ofrece una cobertura equitativa y transversal de las cuatro modalidades deportivas propuestas (pádel, tenis, bádminton y tenis de mesa). Además, los 8 trabajos seleccionados cubren de forma sinérgica e integrada todas las dimensiones analizadas en los bloques del marco teórico: la carga cortical frontal (Visser et al., 2022), el procesamiento inhibitorio (Zhu et al., 2022), las latencias neuroeléctricas tridimensionales (Wang et al., 2022), los paradigmas de oclusión temporal (Wang et al., 2025), el seguimiento ocular in situ (Espino Palma et al., 2023), la lectura biomecánica avanzada (Wu et al., 2024), el constructo de experiencia ganadora (Song et al., 2022) y el modelado probabilístico de la ocupación espacial (Ramón-Llín et al., 2022).



ANEXO B

Para facilitar la comprensión lectora y asentar de forma unificada los conceptos interdisciplinarios abordados a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado, se detalla a continuación el glosario técnico de los principales términos neurocientíficos, visuales y biomecánicos utilizados:

- **Asignación Temprana de Recursos Atencionales:** Mecanismo neurocognitivo prioritario por el cual el sistema visual de un deportista focaliza de forma selectiva su atención en estímulos predictores clave antes de que se desencadene la acción principal. Permite optimizar el procesamiento sensorial y adelantar la respuesta motora.
- **Árboles de Decisión Multivariantes:** Modelos estadísticos avanzados de carácter predictivo que permiten estructurar y analizar la toma de decisiones en el deporte como una sucesión de opciones encadenadas. En esta investigación se aplican para entender de forma matemática las secuencias de golpeo y la ocupación de espacios como el dominio de la red.
- **Carga Cortical:** Nivel de activación, esfuerzo y demanda metabólica que experimenta la corteza cerebral —especialmente las áreas de la corteza frontal y prefrontal— al verse sometida a tareas que exigen un procesamiento de información continuo y una toma de decisiones bajo presión de tiempo.
- **Eficiencia Neuronal:** Principio biofisiológico que describe la capacidad del cerebro experto para resolver tareas motrices y cognitivas complejas con una menor activación metabólica y un menor consumo de energía. Se traduce en un trabajo focalizado en áreas cerebrales muy específicas, evitando la saturación mental.
- **Electroencefalografía (EEG):** Técnica de registro neurofisiológico no invasiva que mide la actividad eléctrica del cerebro mediante electrodos colocados en el cuero cabelludo. Permite monitorizar en milisegundos los cambios en el voltaje cerebral durante la ejecución de tareas físicas o cognitivas.
- **Espectroscopia de Infrarrojo Cercano Portátil (fNIRS):** Tecnología de neuroimagen funcional que mide los cambios en la oxigenación de la sangre en regiones específicas del cerebro mientras el sujeto se mueve. Se emplea para evaluar la carga de la corteza frontal *in situ* durante los peloteos.
- **Experiencia Ganadora (*Winning Experience*):** Constructo neurocognitivo que define el entramado de esquemas tácticos, automatizaciones motrices y estrategias perceptivas que un deportista consolida en su memoria a largo plazo tras años de práctica y resolución de problemas competitivos reales bajo presión.
- **Funciones Ejecutivas:** Conjunto de habilidades cognitivas autodirigidas y coordinadas por el lóbulo frontal que permiten al deportista planificar, adaptar, tomar decisiones y autorregular su conducta en función de un entorno cambiante. Incluyen la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y la inhibición.
- **Habilidades Abiertas (*Open Skills*):** Clasificación que engloba a aquellas disciplinas deportivas que se desarrollan en entornos dinámicos, cambiantes, altamente

impredecibles y con presencia de incertidumbre espacial y temporal (v.g., los deportes de raqueta).

- **Latencia (en ERP):** Intervalo de tiempo transcurrido desde la aparición de un estímulo visual o auditivo hasta el momento exacto en el que una onda cerebral o potencial evocado alcanza su punto de máxima amplitud. Una menor latencia es indicador directo de una mayor velocidad de procesamiento cerebral.
- **Oclusión Temporal:** Paradigma experimental utilizado en psicología del deporte que consiste en interrumpir o cortar secuencias de vídeo del movimiento de un rival en momentos críticos (como fracciones de segundo antes de impactar la bola) para medir la capacidad de anticipación perceptiva del deportista.
- **Pistas Cinemáticas (Kinematic Cues):** Indicadores y patrones de movimiento corporal procedentes de la biomecánica del oponente (tales como la orientación de la cadera, la rotación del tronco o el ángulo de armado del brazo) que poseen un alto valor predictivo sobre el resultado final de la acción del rival.
- **Potenciales Relacionados con Eventos (ERP):** Variaciones de voltaje eléctrico en el electroencefalograma que ocurren como respuesta directa a un evento sensorial, cognitivo o motor específico. En este TFG se analizan de forma prioritaria las ondas occipitales (P1, N1, P2) y la onda frontal N2.
- **Procesamiento Inhibitorio:** Capacidad del sistema nervioso central para suprimir y bloquear de forma activa las respuestas automáticas inadecuadas o los estímulos distractores presentes en el entorno (ruido visual), permitiendo concentrar los recursos atencionales exclusivamente en la información relevante.
- **Ruido Visual:** Flujo masivo de estímulos sensoriales e información periférica irrelevante o no predictiva que se encuentra presente en el entorno de juego (fintas del rival, movimientos del público, elementos de fondo) y que puede distraer o saturar la atención del deportista.
- **Seguimiento Ocular (Eye-Tracking):** Herramienta tecnológica que registra y analiza de forma objetiva los movimientos de los ojos, permitiendo identificar de manera exacta dónde mira el jugador, cuántas fijaciones visuales realiza, la duración de las mismas y qué elementos de la pista ignora.
- **Tiempo de Colisión / Interceptación (Time-to-Collision - TTC):** Cálculo predictivo y anticipado que realiza el cerebro para estimar el tiempo exacto que tardará un objeto o móvil en movimiento (la bola o el volante) en alcanzar un punto determinado del espacio para proceder a su golpeo o interceptación.
- **Validez Ecológica:** Criterio metodológico que determina el grado de fidelidad y representatividad que tiene un experimento o prueba de laboratorio en comparación con las condiciones reales y el ecosistema natural en el que el deportista compete habitualmente en la pista.