

## **Tiempo de reacción con estímulos auditivos y visuales en ciclistas urbanos**

*Reaction time with auditory and visual stimuli in urban cyclists*

*Tempo de reação com estímulos auditivos e visuais em ciclistas urbanos*

**Katya Daniela Serrano Cruz**

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, México

[Katy.danielsc@gmail.com](mailto:Katy.danielsc@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9196-9973>

**Anelisse Yerett Oliveri Rivera**

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, México

[yerett@uaq.edu.com](mailto:yerett@uaq.edu.com)

<https://orcid.org/0000-0001-6752-5416>

### **Resumen**

En este artículo se presentan y analizan diferentes metodologías experimentales enfocadas en el tiempo de reacción (TR) con aplicación de estímulos visuales y auditivos al usuario con el fin de evaluar métodos viables para la seguridad vial y la experimentación de dispositivos relacionados con la reducción de riesgo en el tránsito. Como resultado de la revisión literaria, se analizan ocho artículos enfocados en el área de ciclismo y atletismo. De este modo se han establecido características básicas para el desarrollo de un método de evaluación adecuado para el TR (variable dependiente) y la aplicación de estímulos (visuales y auditivos) en un ambiente controlado enfocado en ciclistas urbanos y en la seguridad vial.

**Palabras clave:** Deporte, ciclismo, movilidad, seguridad activa, rapidez, cuerpo.

## **Abstract**

This paper presents and analyzes different experimental methodologies focused on the TR with an application of visual and auditory stimuli to the user, to evaluate feasible methods for road safety and experimentation of devices related to traffic risk reduction.

As a result of the literature review, eight articles focused on the area of cycling and athletics are analyzed, generating basic characteristics for the development of a suitable evaluation method for the TR (dependent variable) and application of stimuli (visual and auditory) in a controlled environment focused on urban cyclists and road safety.

**Keywords:** Sport, cycling, mobility, active safety, speed, body.

## **Resumo**

Este artigo apresenta e analisa diferentes metodologias experimentais focadas no tempo de reação (TR) com a aplicação de estímulos visuais e auditivos ao usuário a fim de avaliar métodos viáveis para a segurança viária e a experimentação de dispositivos relacionados à redução de riscos no trânsito. Como resultado da revisão literária, são analisados oito artigos voltados para a área de ciclismo e atletismo. Dessa forma, foram estabelecidas características básicas para o desenvolvimento de um método adequado de avaliação do TR (variável dependente) e da aplicação de estímulos (visuais e auditivos) em ambiente controlado voltado para ciclistas urbanos e segurança viária.

**Palavras-chave:** Esporte, ciclismo, mobilidade, segurança ativa, velocidade, corpo.

**Fecha Recepción:** Enero 2022

**Fecha Aceptación:** Julio 2022

---

## **Introducción**

Generar seguridad vial en un sector urbano exige conocer a los usuarios que comparten el tránsito vial, así como sus comportamientos y la comunicación con el entorno. Tras la crisis sanitaria provocada por la pandemia en el 2020 (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2020), la reactivación vial se gestó como tema principal a nivel mundial, lo que incrementó el interés por generar distintas dinámicas y acciones enfocadas a la seguridad vial y a la movilidad de ciclistas urbanos (BBVA, 2020; Excélsior, 24 de abril de 2020).

En el tránsito, el ciclista urbano tiene dos principales canales de comunicación con su entorno (oído y vista) (Gallego *et al.*, 2010), por medio de los cuales es capaz de tomar decisiones inmediatas cuando sea necesario. A esta serie de acciones inmediatas se les

conoce como *tiempo de reacción*. Ganvir y Khatri (2019) definen el tiempo de reacción (TR) como el lapso que transcurre entre el estímulo y la reacción, variable dependiente y fundamental para la investigación deportiva o psicológica, básica y aplicada (Malapeira *et al.*, 1995), mientras que el tiempo de reacción audiovisual es la velocidad con la que una persona puede responder a un estímulo visual y auditivo (Bhutkar *et al.*, 2012).

Explicado esto, el objetivo principal del presente artículo es efectuar la revisión de literatura basada en documentos que evalúen el TR de los sujetos al responder a estímulos auditivos y visuales en usuarios activos o inactivos en los deportes para generar un acercamiento a un método de evaluación adecuado en la aplicación en ciclistas urbanos. Con ello se procura ofrecer teoría enfocada en la protección vial para promover el desarrollo de futuros dispositivos aplicados en la seguridad activa.

## **Material**

### **Ciclistas urbanos**

El ciclista urbano es aquella persona que utiliza como medio de transporte la bicicleta para recorrer trayectos cortos dentro de la ciudad. Se le denomina vulnerable en la movilidad urbana por contener “las características de una persona o grupo desde el punto de vista de su capacidad de anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza” (Rey y Cardozo, 2009, p. 28), es decir, niños, adultos mayores, personas con movilidad reducida y ciclistas.

### **Ciclistas urbanos y los estímulos**

La tercera edición del *Manual del ciclista urbano de Medellín* (2015) explica que al montar en bicicleta se debe permanecer en estado de alerta, priorizando la vista, el oído y el olfato, ya que por medio de estos sentidos se pueden tomar decisiones inmediatas cuando sea necesario. En cuanto a la vista, predomina el campo visual, es decir, visión periférica que cubre 180° al frente, lo que permite tener una idea general del flujo y densidad del tráfico, alternativas de movimiento y velocidad; a su vez, se complementa con la visión central, que cubre un intervalo aproximado de 30°, lo que permite al ciclista mayor detalle del espacio y desplazamiento.

La velocidad adquirida y el terreno en el que se desarrolla la actividad definen las necesidades visuales del usuario (integradas por el campo visual lateral y externo). En el

ciclismo, los estímulos provienen principalmente del medio auditivo y un campo visual agudo (Gallego *et al.*, 2010).

### **Tiempo de reacción o TR**

Del Río *et al.* (2015) definen el tiempo de reacción en el ciclismo como “la rapidez con la que se ejecute un movimiento máximo” (p. 39). Ato García (1984) lo complementa mencionando que es una medida de utilidad para la medición en el índice de realización y ejecución que está integrado por tres componentes básicos: tiempo sensorial (recepción del estímulo), tiempo neurocerebral (detección, reconocimiento, selección de respuestas) y tiempo muscular (contracción muscular necesaria para ejecutar una respuesta). Específicamente se presentan así:

- El tiempo mínimo de respuesta a nivel fisiológico (entre 80 ms y 110 ms)
- Tiempo de respuesta ampliamente variable que depende de:
  - Estímulo (intensidad, modalidad, complejidad).
  - Respuesta (tipo y complejidad, compatibilidad estímulo-respuesta).
  - Periodo preparatorio (tiempo o intervalo entre estímulos).
  - Constantes procedimentales y secuenciales (instrucciones, curvas velocidad-precisión, complejidad de la tarea, características de la secuencia estimular, resistencia a la fatiga, condiciones de registro, etc.).
  - Diferencias individuales (hábitos, edad, sexo, inteligencia, personalidad, etc.) (Ato García, 1984).

El TR es regularmente utilizado en deportes como el atletismo por la acción inmediata del competidor al sonar la marca de salida.

### **Estímulos visuales y auditivos**

Bhutkar *et al.* (2012) mencionan de manera general que el TR de todo el cuerpo está determinado por el intervalo de tiempo en el que el usuario tarda en moverse completamente en diferentes direcciones, lo que depende de factores de percepción (ver, oír y sentir), determinado por el estado de alerta del cuerpo (Ganvir y Khatri, 2019). Pérez *et al.* (2011) plantean el orden de los sentidos con base en la rapidez de la activación de una respuesta motora del cuerpo: audición, tacto, visión, dolor, gusto y olfato.

El estímulo auditivo es captado en un intervalo de tiempo de ocho a nueve milisegundos, comparado con el estímulo visual que es percibido entre 20 ms y 30 ms (Pérez *et al.*, 2011).

### **Tipos de medidas y aspectos para determinar el TR**

Malapeira *et al.* (1995) dividen en tres situaciones básicas el TR: TR simple (el estímulo está definido y recibido por el usuario), TR de discriminación de estímulos (el sujeto está expuesto a diferentes estímulos y solo emite respuesta a uno de ellos) y TR de elección (el sujeto está en presencia de varios estímulos y responde a cada uno de ellos de distinta forma, asociando las respuestas a cada estímulo). Estos conceptos los retoman Buchholtz y Burgess (2020) en su documento *Una evaluación de la agilidad y los tiempos de reacción específicos de la bicicleta en ciclistas de montaña y ciclistas de carretera*.

Las consideraciones al utilizar el TR como variable dependiente en una investigación básica o aplicada son las siguientes (Malapeira *et al.*, 1995):

- 1 Relación directa con los objetivos (objetivos generales).
- 2 Establecer diferencias entre grupos de distintos sujetos (tipos de usuario).
- 3 La aplicación de técnicas de homogenización a los sujetos para asegurar el control de las variables por alta sensibilidad del TR en cada persona con un control extensivo en los hábitos, es decir, analizar factores como el ritmo del sueño, comidas, etc. (criterios de homogenización).
- 4 Llevar la investigación de forma sistemática con registros de los datos de TR para el correcto desarrollo de un diseño de experimento (condiciones del experimento).
- 5 Brindar a los sujetos periodos de adaptación previos para que puedan focalizar su atención (periodos de adaptación previos).
- 6 En caso de trabajar con funciones sensoriales, se deben plantear objetivos en la investigación, así como la caracterización de los estímulos: modo de presentación, frecuencia de aparición, intervalos y disposiciones estimulantes (manipulación de estímulos y registro de datos).
- 7 Obtener toda la información, es decir, aplicación de estadísticos, tipo de análisis, uso de medidas complementarias en relación con anticipaciones, lapsus y errores, así como plantear análisis parciales de la secuencia de ensayos (tipo de análisis estadístico).

Es necesario considerar dos aspectos en el desarrollo de experimentos para el TR: la alta variabilidad de registros en grupos homogéneos y mixtos (difícilmente comparables) y

la interacción entre las condiciones del experimento adicional a las características individuales relacionada directamente con los objetivos o la estrategia adecuada para la investigación.

Sin embargo, Buchholtz y Burgess (2020) señalan la limitada literatura relacionada al tiempo de reacción y la agilidad en el ciclismo, sustento que valida la pertinencia de este artículo.

## **Métodos**

### **Criterios de inclusión**

Artículos cuya variable de estudio sea el tiempo de reacción basado en los estímulos auditivos y visuales. Se priorizan aquellos con temáticas centradas en el ciclismo, atletismo o deportes cuyos criterio de homogenización sean sujetos en perfectas condiciones de salud.

### **Criterios de exclusión**

Artículos basados en deportes de contacto o aquellos que por medio de la práctica cuerpo a cuerpo se puedan anticipar al estímulo o movimiento reconocido a través de la práctica.

## **Resultados**

Con base en los criterios de inclusión-exclusión establecidos, y según las consideraciones de Malapeira *et al.* (1995), fueron seleccionados los siguientes documentos:

- A The Effects of Acute Bout of Cycling on Auditory & Visual Reaction Times (Ashnagar *et al.*, 2015).
- B An evaluation of bicycle-specific agility and reaction times in mountain bikers and road cyclists (Buchholtz y Burgess, 2020).
- C Effect of Age on Audio-Visual and Whole Body Reaction Time (Bhutkar *et al.*, 2012).
- D Coordination Aspects of an Effective Sprint Start (Borysiuk *et al.*, 2018)
- E Comparison of Visual and Auditory Reaction Time in Physically Active and Inactive Male and Female Adolescents: An Observational Study (Ganvir y Khatri, 2019).
- F Investigation of visual and auditory simple reaction time of 11- 18 aged youth (Pancar *et al.*, 2016).

- G Effects of aerobic exercise and gender on visual and auditory P300, reaction time, and accuracy (Arruda *et al.*, 1999).
- H Comparison between Auditory and Visual Simple Reaction Times (Shelton y Praveen, 2010).

## **Discusión**

A continuación, se realiza el análisis de la información sobre las investigaciones seleccionadas para generar un método de evaluación adecuado para la seguridad vial aplicada a ciclistas urbanos. La variable dependiente fue el TR determinado por los estímulos auditivos y visuales en usuarios activos o inactivos en el deporte.

Para cumplir con este objetivo, se elaboró una tabla comparativa con ocho rubros (Malapeira *et al.*, 1995). Asimismo, se consideró que los experimentos han sido revisados por un comité de ética. Dentro de la discusión, se hará referencia a los artículos señalados con las letras *A, B, C, D, E, F, G* y *H*.

## **Objetivo general**

Los artículos fueron divididos por temas semejantes. Se comenzó con aquellos cuyo objetivo general se relacionaba directamente con un deporte: *A, B, D* y *H*.

Los documentos *A* y *B* están enfocados en el ciclismo. El artículo *A* está centrado en los efectos del ciclismo, las diferencias entre el TR y TR complejo de los estímulos visual y auditivo, mientras que el artículo *B* se enfoca en la relación entre la agilidad y la toma de decisiones para evitar colisiones o caídas de bicicletas.

La investigación *D* está enfocada en el *sprint* de los corredores y las diferencias entre TR de velocistas élite y novatos. El artículo *H* está centrado en el concepto general del deportista, con el objetivo de conocer el estímulo de mayor rapidez (visual o auditivo).

En los artículos *C* y *F* se trata la edad y el efecto en el TR. En el artículo *C* se aborda el concepto *edad avanzada*, para lo cual se comparan grupos de diferentes edades (20 a 60 años) con actividad o inactividad deportiva, mientras que en *F* se realiza una evaluación entre grupos de 11 y 18 años.

En *E* se estudia la actividad o inactividad deportiva en hombres y mujeres a nivel de secundaria, mientras que *G* se enfoca en el procesamiento de la información durante la actividad deportiva con relación al género.

El objetivo de la metodología de TR dependerá de los resultados cualitativos o cuantitativos que el estudio desea obtener. Las variantes se asocian con actividad o inactividad deportiva, agilidad ante un siniestro, habilidades según las edades y población con la que se realizará el experimento. A su vez, el objetivo estará ligado a los criterios de homogenización, pues el TR es una variable compleja.

### **Criterios de homogenización**

La homogenización de los sujetos asegura el control de las variables debido a la alta sensibilidad del TR en cada sujeto, con un control extensivo en los hábitos, es decir, analizar factores como el ritmo del sueño, comidas, etc. (Malapeira *et al.*, 1995).

Definidos como criterios de exclusión y de inclusión, los de homogenización brindaron a los artículos un mayor control sobre las condiciones físicas que necesitaban sus sujetos para llevar a cabo las pruebas y obtener los resultados esperados. Esto, además, representó un filtro para la seguridad e integridad de los usuarios al realizar las actividades físicas.

Ejemplo de lo anterior son los documentos A, B, C, E y G, que cuentan con las siguientes similitudes: establecen intervalo de edad dependiendo el enfoque del estudio, requieren tiempo de participación en actividades deportivas, ninguna enfermedad aguda o crónica, lesiones deportivas en las extremidades (evidencia clínica), no problemas auditivos o visuales, no alcohólicos, el sujeto debe estar en perfecto bienestar físico, mental y psicológico.

En algunos artículos, como en la investigación B, solicitaron que el sujeto realizara una actividad física mínima de cuatro horas por semana. En el estudio A se requería la abstención del consumo de cafeína o alcohol durante las 12 horas anteriores a la prueba, y en el artículo G se realizaron las pruebas con sujetos diestros.

El artículo D dirige sus criterios hacia el control de los velocistas de élite y novatos. Para ello, se les solicitó un intervalo de índice de masa corporal medio (IMC), masa corporal y altura. Los estudiantes (novatos) no eran deportistas de alto rendimiento.

Los artículos F y H no muestran criterios tan rigurosos como los estudios anteriores. El documento F solicita niños voluntarios que sean sedentarios en un intervalo de edad de 11 a 18 años, y el estudio H no muestra ningún criterio.

Los artículos hacen evidente que el manejo de criterios de homogenización aplicados a los sujetos evaluados genera un mayor control sobre factores externos y reduce las variantes en los resultados; sin embargo, el experimento puede llegar a ser aplicado a un



limitado grupo de la población. Es necesario que la metodología enfocada a los ciclistas urbanos cuente con un objetivo claro para facilitar los criterios que delimitarán a la población, de modo que sean lo más incluyente, con la intención de que el resultado cualitativo obtenga un grado significativo alto. Uno de los factores de mayor importancia dentro del TR es que el ciclista se encuentre en perfecto bienestar físico, mental y psicológico.

### **Tipos de usuarios**

El tipo de usuario evaluado en las investigaciones es segmentado por los objetivos generales, con lo que se reduce el campo de prueba a un sector más específico. En B, E, F, G y H se realizaron los experimentos con grupos mixtos (hombre y mujer) de diferentes edades, en un intervalo de edad que va desde 11 a 69 años, lo que generó mayor cantidad de datos aleatorios debido a que el TR es un factor sensible a la edad y género.

A realiza el experimento con grupos mixtos, pero segmentado en dos sectores (control y experimental), en el intervalo de edad entre  $23 \pm 2$  años. El primer grupo lleva a cabo la prueba de forma aleatoria, mientras que el segundo tiene mayor control de los factores y estímulos.

Los estudios C y D utilizan solo a varones en un intervalo de edad de 20 a 69 años, aunque en el artículo D se requiere que el sujeto pertenezca al grupo de velocistas avanzados o estudiantes de los primeros semestres de educación física, lo que reduce su cantidad de sujetos para la prueba, pero estandariza su segmento para un grupo con mayor control y en iguales condiciones.

Como ya se mencionó, la edad y el género son factores importantes en los criterios de homogenización: entre mayor sea el rango de edad existirá una alta variabilidad entre los resultados del TR. Se sugiere que, aplicado el método en ciclistas urbanos, la población sea aquella que usa con alta frecuencia la bicicleta como medio de transporte, se contemplen los años de experiencia en el deporte y la aplicación del experimento en grupos mixtos.

### **Condiciones de experimentación**

Para el registro de datos se debe llevar un proceso sistemático de los eventos durante el experimento y la descripción de cada uno, así como aparatos utilizados, sistemas computarizados o actividades realizadas por los sujetos. Dentro de los artículos examinados se encontraron algunas similitudes que serán planteadas a continuación.

En las investigaciones A y B, enfocadas al ciclismo, encontramos que A hace uso de bicicletas estacionarias (ergómetro de bicicleta) que presentan una pantalla LCD a dos metros del sujeto para efectuar cuatro pruebas: dos TR auditivas con una TR elección compleja y dos de TR visuales con una de elección compleja. El estudio B, por su parte, demuestra la agilidad del usuario por medio de actividades físicas como la conducción de una bicicleta regular esquivando conos en el piso. Para evaluar el TR se utilizó una *wattbike* (entrenador estacionario) configurado en función de la altura y la ergonomía de cada participante. Posterior a las actividades, ambos experimentos aplicaron pruebas computarizadas para la evaluación visual y auditiva. En A se usó el programa *Speed Software* de prueba de anticipación y reacción (SART), mientras que en B se utilizó *Illinois modificada* (IAT) para evaluar la agilidad en la bicicleta y un programa en línea (*EyeGym*) creado por la Dra. Sherylle Calder para el TR visual.

El artículo G usó un ergómetro de bicicleta Tuntuni F418 reclinado; el sujeto recibía los estímulos visuales a través de una pantalla colocada frente a él y los estímulos auditivos eran recibidos por medio de audífonos utilizando el sistema Neuroscan Stim. Dado que el objetivo del proyecto se basó en la actividad cerebral y el procesamiento de la información recibida, se utilizaron electroencefalogramas, electrooculograma y electrocardiógrafo.

En cambio, en la investigación D se utilizaron electrodos de superficie y sensores EMG colocados en la piel del participante (velocista) para examinar el rendimiento de los músculos del lado izquierdo y derecho del cuerpo, apoyados por dos cámaras para detectar el primer movimiento visible de los músculos del brazo, pie trasero, delantero y primeras zancadas. Los sujetos efectuaron tres pruebas de velocidad de 30 minutos con descansos.

Los estudios C y E emplearon cronoscopios como elemento básico para la medir el tiempo hasta cuatro dígitos. En ambas condiciones del experimento, se utilizaron aparatos que proporcionan estímulos visuales (uso de colores rojo y verde) y auditivos en milisegundos (*beep o click*).

El artículo E utilizó el aparato *Audio-Visual Reaction Time Apparatus* designed by *Anand Agencies*, que consta de dos estímulos visuales y dos auditivos; con dos teclas de respuesta y una señal de listo, el usuario presiona al escuchar el sonido y al observar el color (rojo y verde) que se le indique.

En el documento C se empleó una “caja de presentación de estímulos” (Bhutkar *et al.*, 2012), que parpadea para presentar el estímulo visual al que el usuario responde con acciones físicas, como levantar una pierna.

En los artículos F y H se utilizó el método experimental-comparativo por medio de sistemas computarizados. La investigación F utilizó [www.humanbenchmark.com](http://www.humanbenchmark.com) y ARTE: [cognitivofun.net](http://cognitivofun.net) en cinco tiempos. La variable media fue guardada en milisegundos en ambas pruebas; además, se midieron las alturas y los pesos de los sujetos con un estadiómetro. Por otro lado, el estudio H utilizó el *software* DirectRT, que consta de Testlabvisual y Testlabsounds. Los sujetos presionan la “barra espaciadora” cada vez que observan un cuadro amarillo en su pantalla.

Retomando la información relevante de los artículos analizados, las condiciones del experimento aplicado en ciclistas urbanos procuraron dotar al usuario de estímulos auditivos y visuales similares a los que podrían presentarse en una situación real dentro de la vialidad, ya sea mediante sistemas computacionales o a través de un experimento controlado a escala real.

### **Periodos de adaptación**

El periodo de adaptación es un tiempo donde los usuarios se acoplan a la actividad que realizarán o preparan su cuerpo para reconocer los distintos estímulos que están por recibir. De esta forma asimilan y comprenden parcial o totalmente la finalidad del ejercicio que realizan dentro del experimento, así como las indicaciones del investigador.

Ejemplificando lo anterior, los estudios A, B y D describen detalladamente el tiempo de adaptación entre pruebas. El artículo A menciona un protocolo de ejercicios antes y después de la primera prueba, complementando tres series de 10 ensayos. En la segunda se realiza un calentamiento físico de tres minutos con un trabajo de carga de 25 W y un enfriamiento de tres minutos.

El artículo B realiza dos sesiones de práctica para la prueba de agilidad con la bicicleta regular, mientras que para la prueba de TR existió calentamiento previo. Se realizó un control de cadencia y potencia por medio de indicadores de esfuerzo evaluando los niveles en “ligero”, “intenso” y “mayor intensidad”, complementando tres pruebas.

El artículo D indica un calentamiento general de los corredores con 20 minutos de estiramientos y acondicionamiento físico para la cabeza, tranco, brazos, piernas, cadera y rodillas y descansos de dos a cuatro minutos dependiendo la frecuencia cardíaca del participante.

Los artículos F y H no especifican esta categoría. A pesar de no ser detallados, los documentos C, E y G mencionan un periodo de pruebas para relacionar al sujeto con el

instrumento y luego realizar prácticas repetidamente. El artículo G menciona que su prueba duró 10 minutos y cubrió el descanso, el ejercicio y la recuperación.

Después de la lectura de los artículos se concluye que para familiarizar al sujeto con el experimento se debe tener un periodo de adaptación y preparación física, así como iniciar con un calentamiento previo al uso de la bicicleta u objeto que servirá como simulador. Después del calentamiento realizar pruebas de ajuste y de adaptación al experimento; posteriormente, se procede a realizar el experimento. Un vez terminado, se sugiere que el usuario realice un estiramiento.

### **Manipulación de estímulos y registro de datos**

A continuación, se analizan los documentos A y G, que llevaron control en la presentación de alguno de los estímulos. En A se utilizaron cuatro diferentes sonidos con una frecuencia específica de 1000 Hz, 3000 Hz, 5000 Hz y 7000 Hz en el caso del tiempo de reacción auditiva; su registro de datos se basó en el *software* Speed Anticipation and Reaction Tester (SART) para TR simple y TRC compleja; mientras que G empleó velocidad de pedaleo, donde se mantuvo al sujeto en 60 rpm (revoluciones por minuto), ajustando la presión de frenado mecánicamente desde “un kilopascal (60 W) inicial para mantener una frecuencia cardíaca de  $130 \pm 150$  latidos por minuto” (Arruda *et al.*, 1999, p. 404). En el estímulo auditivo utilizó dos tonos estándares: “(90 decibelios por encima de los niveles de audición normales [90 dBnHL]) de un kilohertz (80%, común) y dos kilohertz (20%, sonido extraño al sujeto)” (Arruda *et al.*, 1999, p. 404).

El estímulo sonoro se presentó de manera binaural a intervalos medios de 1250 (250) ms de forma aleatoria por medio de auriculares, mientras que en el estímulo visual se utilizaron binoculares de dos formas: “los estímulos blancos (50 ms de duración, subtendiendo un ángulo visual de 160 minutos), que consisten en X (80%, común) y O (20%, raro) se presentaron binocular mente en la media 1250 (250) ms intervalos en orden aleatorio en una pantalla de computadora negra” (Arruda *et al.*, 1999, p. 404). El registro de los datos se basa principalmente en los resultados arrojados por el electrooculógrafo (EOG), electrocardiógrafo (ECG) y electroencefalograma (EEG).

La manipulación de los estímulos de B, F y H se basó en los *softwares* que aplicó cada investigación. B utilizó *Illinois modificada* (IAT) para evaluar la agilidad específica en la bicicleta, y para las pruebas de TR visual simple y de elección utilizaron el programa en línea EyeGym creado por la Dra. Sherylle Calder. En la investigación se registraron datos

de masa corporal, estatura, peso y circunferencia de la cintura, así como los resultados de TR simple y las variaciones de las intensidades de pedaleo en las pruebas en ambos sexos.

Por su parte en F se apoyaron en el *software* [www.humanbenchmark.com](http://www.humanbenchmark.com); ARTE: [cognitivofun.net](http://cognitivofun.net), registrando datos de TR visual y auditiva, así como las alturas y los pesos de los sujetos. En H se manejaron pruebas por Testlabvisual y Testlabsounds en el programa DirectRT, que registra los datos del TR medio para las pruebas visuales y auditivas. Por otro lado, C y E se basaron en el uso de dispositivos.

En C, los estímulos variaron en un intervalo de dos a cinco segundos, con frecuencias de sonido bajas (clic) y altas (tono) y en el factor visual fue el uso de luz verde y roja. En su registro de datos se evaluaron cuatro movimientos (lado derecho, izquierdo, al frente y atrás), el TR visual y auditivo, así como el tiempo de inicio y finalización de una acción en una dirección en particular. La diferencia de ambos da como resultado el TR de todo el cuerpo.

En E se utilizó el aparato audio-visual *Reaction Time Apparatus* designed by Anand Agencies, que emite un estímulo sonoro alto y bajo, mientras que en el estímulo visual se usaron los colores verde y rojo (ambos aparecen de forma aleatoria). El registro de los datos se llevó a cabo con el programa de PAQ-A (para la actividad física) y para el TR visual y auditivo con las lecturas del dispositivo antes mencionado.

En D, el estímulo se dio por medio del conocido inicio del *sprint*, considerado como el tiempo transcurrido desde los comandos *en tus marcas* y *prepárate* hasta la señal de inicio (generalmente un disparo) y el despegue de los tacos de salida. Se registraron los tiempos en 5 m, 10 m y 30 m después del inicio, como se describió anteriormente. Se utilizó un sistema de sensores EMG para el registro de actividad bioeléctrica, tomando los datos desde el despegue de los tacos hasta los dos primeros pasos.

### **Análisis estadístico**

En 90 % de los documentos recolectados se realizaron análisis exhaustivos de los datos registrados. En el caso de H se contemplaron tablas comparativas y gráficas de barras para la representación. A continuación, los siete artículos restantes basan sus conclusiones aceptando la significación estadística como  $p < 0,05$ .

Para obtener la significación, en A se utiliza el programa SPSS 19.0 para Windows. En B, a través de una observación trasversal, se realiza un análisis estadístico descriptivo sobre los datos antropométricos, empleando pruebas de normalidad de Shapiro-Wilkes. Se realizaron pruebas para determinar las siguientes diferencias:

- Características descriptivas de los grupos por género a través de pruebas T.
- Ciclismo de montaña y de ruta utilizando U de Mann-Whitney.
- Entre TR y las intensidades de ciclismo se realizó un Anova de Friedman con la prueba de intervalo con signo de Wilcoxon. “Las asociaciones entre variables se evaluaron mediante un análisis correlacional de Spearman. La significación estadística se aceptó como  $p < 0,05$ .” (Ashnagar *et al.*, 2015, p. 8).

En C se elaboraron dos tablas comparativas de los tiempos entre los grupos: la primera contiene los TR visual y auditiva ante los estímulos y reacciones del cuerpo completo, analizando las reacciones y movimiento del cuerpo por medio de las lateralidades, frente y atrás, valorando el tiempo en milisegundos. La segunda tabla muestra el tiempo de inicio y la finalización de una acción con dirección en particular; se muestran diferencias entre los valores de TR en todo el cuerpo analizando las reacciones y movimiento por medio de las lateralidades, frente y atrás. Las tablas son comparaciones entre los grupos de edad, analizadas por medio de la prueba de factor único Anova, donde se refleja un  $p < 0.05$ , por lo que se concluye el “aumento estadísticamente significativo en auditiva TR ( $p < 0,001$ )” (Bhutkar *et al.*, 2012, p. 92).

En E, la comparación de TR utilizó prueba T para datos no apareados, con una significancia de  $p < 0.05$  para el tiempo de reacción auditiva (ART) y el tiempo de reacción visual (VRT). Se concluye que los adolescentes activos muestran menor TR que los no activos físicamente y con una mejor capacidad de responder a los estímulos.

En D se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de la distribución de las variables. Utilizaron el coeficiente de correlación de rangos de Spearman no paramétrico(R) debido a que las variables se ajustan a la distribución normal, mientras que a los que no se ajustaban se les aplicó la prueba U de Mann-Whitney.

En F los datos obtenidos se registraron en el programa estadístico SPSS 22.0 para Windows. Para la normalidad se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, Anova de una vía y Tukey para el análisis estadístico de los grupos de edad. “En todas las pruebas el nivel de significancia es aceptado como  $p < 0.05$ ” (Pancar *et al.*, 2016, p. 150).

En G “las variables dependientes (FC, RT, precisión, latencia P300, amplitud P300) se sometieron a pruebas de tres vías (tarea, condición, género) mediante análisis de varianza, con ajuste de Greenhouse-Geisser de los grados de libertad” (Arruda *et al.*, 1999, p. 405). El criterio de significación estadística fue  $p < 0,05$ . Se realizaron pruebas post-hoc, pruebas simples de efectos principales y de comparación Tukey Honestly Signi@cant Diferencias.

## **Evaluación**

A diferencia de los artículos analizados anteriormente, en este documento se presenta una serie de sugerencias enfocadas en el ciclista urbano, es decir, al usuario que no cuenta con una preparación en dicho deporte, pero que realiza la actividad y usa la bicicleta como medio de transporte en la movilidad urbana, por lo que, al igual que un deportista, pone en riesgo su integridad física. El investigador podrá encontrar en los artículos citados y en el presente literatura enfocada en mejorar métodos experimentales del TR con estímulos visuales y auditivos, lo que le permitirá diversificar los estudios aplicados en la seguridad activa del sector vulnerable en la movilidad.

Sin embargo, cabe señalar que la limitante en este artículo de revisión es la escasa literatura enfocada en deportes relacionados al TR con uso de estímulos visuales y auditivos no predecibles; la mayoría de deportes de contacto aplican el TR, pero los movimientos comienzan a ser memorizados por los participantes y, por lo tanto, no tienen similitud con un ciclista urbano expuesto a los cambios constante de la vialidad.

## **Conclusión**

Para el desarrollo y aplicación de un método adecuado para la evaluación de TR con uso de estímulos auditivos y visuales en ciclistas urbanos se concluye lo siguiente. La metodología debe contar y nombrar al comité de ética que respalda la investigación, ya que ampara el método de evaluación por desarrollar, lo que genera un mayor grado de confiabilidad en los futuros resultados, artículos o investigación en general.

Asimismo, se recomienda entregar a los participantes una carta de consentimiento informado donde se expliquen los objetivos y el contenido de la investigación para brindar mayor formalidad al estudio.

Como primer paso para el desarrollo de la metodología, se plantea el objetivo general, el cual debe ser puntual en los alcances y en los límites, nombrar a los sujetos que participan (genero, edad, nivel de estudio, etc.), el medio de evaluación del TR, así como el porqué y el para qué de la investigación.

Por otra parte, el objetivo general fue desarrollado desde la perspectiva del área de estudio de los artículos citados, que van desde el área de educación física hasta el análisis de procesos de información al recibir un estímulo. En tal sentido, a los objetivos planteados se deben describir de manera detallada las condiciones del experimento.

En temas del usuario, es necesario plantear un objetivo conciso y claro para establecer los criterios de homogenización, los cuales generan un filtro que controla la alta variabilidad de los datos. Se sugiere, por ende, tomar en cuenta que los sujetos deben estar en perfecto bienestar físico, mental y psicológico (basar los criterios de homogeneización en la salud del sujeto). Además, los grupos deben ser homogéneos, con un corto intervalo de edad, con el objetivo de no generar resultados tan extensos como sucedió con el artículo C.

Por último, se debe considerar el tiempo de práctica y uso de la bicicleta como uno de los criterios de inclusión para el método (no es necesario especificar si el usuario es ciclista de montaña o ruta).

Los objetivos del estudio y los criterios de homogenización dan pautas a las condiciones del experimento, pero entre las características básicas para llevar a cabo una metodología enfocada en ciclistas se recomienda principalmente el uso de una bicicleta estacionaria y considerar el apoyo de medios computarizados para facilitar la recolección de datos en las reacciones ante estímulos de los ciclistas. Además, emplear las estrategias y condiciones de experimentos planteado en el artículo B, por ser el artículo con mayor similitud en experimentos enfocados en ciclistas, mientras que los artículos C y E pueden ser útiles para posibles aplicaciones en dispositivos de seguridad activa con uso estímulos visuales y auditivos.

Dentro de las condiciones del experimento se encuentra la manipulación de los estímulos. Entre las sugerencias de los artículos citados se postula el uso de los colores rojo y verde en el estímulo visual, mientras que en el estímulo auditivo se recomiendan decibelios según las normativas del lugar o país donde se lleve a cabo el experimento. Igualmente, es importante conocer los intervalos de los estímulos o el modo de presentación ante el usuario. Es vital para el experimento definir y explicar claramente las acciones-respuestas que se esperan del usuario con el objetivo de que el investigador pueda identificar el intervalo de inicio y fin del TR (envío del estímulo hasta la acción-respuesta del sujeto).

Una vez que inicia el experimento, es importante considerar los tiempos de acondicionamiento previos y posteriores a las pruebas, ya que la prueba consta de actividades físicas, por lo que se debe prever al menos tres minutos para que el sujeto no sufra daños.

En el periodo de adaptación ante instrumentos de medición o dispositivos de prueba no solo se deben contemplar pruebas piloto, sino también una explicación breve del objetivo



y funcionamiento. Por eso, se deben considerar al menos dos a tres pruebas piloto y brindar al sujeto periodos de descanso o recuperación entre pruebas o sesiones.

Para finalizar, el análisis estadístico se debe definir con base en los objetivos planteados en el método. Un apoyo contundente para metodologías aplicadas en ciclistas son los datos estadísticos arrojados en el documento B. En caso de existir un rechazado a la hipótesis nula mediante la técnica Anova, se sugiere considerar el Test HSD de Tukey como sistema de apoyo en el análisis.

### **Futuras líneas de investigación**

- Aplicación de las metodologías de TR en dispositivos electrónicos enfocados en seguridad activa del ciclista.
- TR en ciclistas veteranos vs. aficionados.
- Aplicación de pruebas de TR con grupos homogenizados en horario matutino y nocturno.
- Ciclistas y tránsito, trabajadores que utilizan como medio de transporte la bicicleta.
- Aumento de rendimiento laboral en trabajadores que usan como medio de transporte la bicicleta basado en el TR.

## Referencias

- Alcaldía de Medellín (2015). *Manual del ciclista urbano* (3.<sup>a</sup> ed.).  
<https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=contenido/1071-Manual-del-Ciclista-Urbano>
- Arruda, J. E., Coburn, K. L., Estes, K. M. and Yagi, Y. (1999). Effects of aerobic exercise and gender on visual and auditory P300, reaction time, and accuracy. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(5), 402-408.  
<https://doi.org/10.1007/s004210050611>
- Ashnagar, Z., Jalaei, S. and Shadmehr, A. (2015). The effects of acute bout of cycling on auditory and visual reaction times. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19(2), 268-272. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2014.05.003>
- Ato García, M. (1984). El tiempo de reacción como variable dependiente: algunas cuestiones de procedimiento experimental. *Anales de Psicología*, 1, 209-224.  
<https://revistas.um.es/analesps/article/view/32631>
- BBVA (2020). *Urgen medidas económicas y de salud para contrarrestar el impacto del COVID-19 en México*. <https://www.bbva.com/es/mx/urgen-medidas-economicas-y-de-salud-para-contrarrestar-el-impacto-del-covid-19-en-mexico/>
- Bhutkar, M. V., Bhutkar, P. M., Doijad, V. P., Surdi, A. D. and Taware, G. B. (2012). Effect of age on audio-visual and whole body reaction time. *Al Ameen Journal of Medical Science*, 5(1), 90-94.  
<http://ajms.alameenmedical.org/articlepdfs/AJMS.5.1.2012%20P%2090-94.pdf>
- Borysiuk, Z., Błaszczyszyn, M., Konieczny, M., Pakosz, P., Piechota, K. and Waśkiewicz, Z. (2018). Coordination aspects of an effective sprint start. *Frontiers in Physiology*, 9, 1138. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01138>
- Buchholtz, K. and Burgess, T. (2020). An evaluation of bicycle-specific agility and reaction times in mountain bikers and road cyclists. *South African Journal of Sports Medicine*, 32(1), 1-5. <http://dx.doi.org/10.17159/2078-516x/2020/v32i1a8576>
- Del Río, J., Rubio, K. y Flores, P. (coords.) (2015). *El entrenamiento del ciclista de ruta amateur*. Universidad de Colima.  
[http://www.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/El-entrenamiento-del-ciclista-de-ruta-amateur\\_427.pdf](http://www.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/El-entrenamiento-del-ciclista-de-ruta-amateur_427.pdf)
- Excélsior (24 de abril de 2020). OMS recomienda el uso de la bicicleta en grandes ciudades. *Excélsior*. <https://www.excelsior.com.mx/adrenalina/oms-recomienda-el-uso-de-la-bicicleta-en-grandes-ciudades/1378070>

- Gallego, I., Rodríguez, V. y Zarco, D. (2010). *Visión y deporte*. Editorial Glosa.
- Ganvir, S. and Khatri, Z. (2019). Comparison of visual and auditory reaction time in physically active and inactive male and female adolescents: An observational study. *J Nov Physiother*, 9(413). doi:10.4172/2165-7025.1000413
- Malapeira, J., Honrubia, M., Viader Junyent, M. y Cosculluela, A. (1995). Análisis de los componentes del tiempo de reacción. *Anuario de Psicología*, (65), 139-151. <http://hdl.handle.net/2445/121472>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2020). *La OMS caracteriza a COVID-19 como una pandemia*. [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_contentandview=articleandid=15756:who-characterizes-covid-19-as-a-pandemicandItemid=1926andlang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_contentandview=articleandid=15756:who-characterizes-covid-19-as-a-pandemicandItemid=1926andlang=es)
- Pancar, Z., Özdal, M., Pancar, S., and Biçer, M. (2016). Investigation of visual and auditory simple reaction time of 11-18 aged youth. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 2(4). <http://dx.doi.org/10.46827/ejpe.v0i0.313>
- Pérez, J., Soto, J. y Rojo, J. (2011). Estudio del tiempo de reacción ante estímulos sonoros y visuales. *European Journal of Human Movement*, 27, 149-162.
- Rey, C. y Cardozo, O. (2009). La vulnerabilidad en la movilidad urbana: aportes teóricos y metodológicos. En A. Foschiatti (comp.), *Aportes conceptuales y empíricos de la vulnerabilidad global*. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional del Nordeste.
- Shelton, J. and Praveen, G. (2010). Comparison between auditory and visual simple reaction times. *Neuroscience and Medicine*, 1(1). doi:10.4236/nm.2010.11004

Rol de Contribución	Autor(es)
Conceptualización	Katya Daniela Serrano Cruz
Metodología	Katya Daniela Serrano Cruz
Software	NO APLICA
Validación	Katya Daniela Serrano Cruz
Análisis Formal	Katya Daniela Serrano Cruz (principal ) & Anelisse Yerett Oliveri Rivera (que apoya)
Investigación	Katya Daniela Serrano Cruz
Recursos	Katya Daniela Serrano Cruz (principal ) & Anelisse Yerett Oliveri Rivera (que apoya)
Curación de datos	Katya Daniela Serrano Cruz (principal ) & Anelisse Yerett Oliveri Rivera (que apoya)
Escritura - Preparación del borrador original	Katya Daniela Serrano Cruz
Escritura - Revisión y edición	Katya Daniela Serrano Cruz (principal ) & Anelisse Yerett Oliveri Rivera (que apoya)
Visualización	Katya Daniela Serrano Cruz
Supervisión	Katya Daniela Serrano Cruz (principal ) & Anelisse Yerett Oliveri Rivera (que apoya)
Administración de Proyectos	Katya Daniela Serrano Cruz
Adquisición de fondos	Katya Daniela Serrano Cruz