



# Metodología para la medida de la energía consumida en las maniobras de acceso y salida de turismos empleando el sistema de captura de movimiento Kinect

F. Martínez Gala<sup>1</sup>, F. J. Páez Ayuso<sup>2</sup>, E. Alcalá Fazio<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Inst. Univ. de Investigación del Automóvil. Universidad Politécnica de Madrid. [francisco.mgala@upm.es](mailto:francisco.mgala@upm.es)

<sup>2</sup> Inst. Univ. de Investigación del Automóvil. Universidad Politécnica de Madrid. [franciscojavier.paez@upm.es](mailto:franciscojavier.paez@upm.es)

<sup>3</sup> Inst. Univ. de Investigación del Automóvil. Universidad Politécnica de Madrid. [enrique.alcala@upm.es](mailto:enrique.alcala@upm.es)

---

*El proyecto que se describe en este artículo pretende desarrollar una metodología que permita medir el gasto energético cuando una persona entra y sale de un vehículo. Para la captura de las maniobras que realiza la persona se emplea la especificación más reciente del sistema de captura de movimiento Kinect. La medida del gasto energético se plantea como una forma de evaluar la accesibilidad a las plazas de un vehículo y está especialmente orientado a personas mayores y personas con movilidad reducida en general.*

*En primer lugar se evalúa la capacidad del sistema de captura de movimiento Kinect en lo referente a precisión en el seguimiento de las diferentes articulaciones del cuerpo que incorpora el modelo tanto en escenarios despejados como en presencia de obstáculos visuales. A continuación, su capacidad para captar las maniobras que se realizan para entrar al habitáculo y subsanar los problemas que plantea el trabajar con un habitáculo de dimensiones más o menos reducidas y con elementos de morfologías diversas como los asientos y el salpicadero.*

*En paralelo, se trabaja en una metodología que permita obtener información sobre el gasto energético de una persona a la hora de realizar las maniobras de acceso y salida que se capturen.*

*La unión de la valoración energética del movimiento y de la captura del mismo con la fiabilidad necesaria debe confluir en la metodología para valorar energéticamente la accesibilidad de un turismo.*

---

## 1. Introducción

A la hora de evaluar un nuevo vehículo, especialmente cuando se trata de uno con la carrocería algo elevada, suele destacarse su facilidad de acceso a las diferentes plazas. Sin embargo, esta valoración generalmente es completamente subjetiva y está muy condicionada a las características fisiológicas de la persona que prueba el vehículo, que además suele ser una persona joven y sin problemas de movilidad. Por lo tanto, salvo que un vehículo esté tan penalizado en ese aspecto para que una persona con esas características tenga dificultades para entrar o salir del mismo, este aspecto no tendrá mayor relevancia además de la mencionada impresión general por el tipo de vehículo, como ocurre generalmente con los monovolúmenes.

Como es evidente, el alcance de esta valoración de la accesibilidad es muy limitado dada la gran heterogeneidad de la población y por tanto de los posibles usuarios de los vehículos. A esta cuestión se suma el hecho de que la población de los países desarrollados cada vez está más envejecida, lo que se traduce en una mayor proporción de personas mayores de 65 años y con una esperanza de vida media que supera los 80 años en muchos países, entre ellos España.

Como consecuencia una proporción cada vez más importante de los usuarios de los vehículos tiene una edad avanzada, y por tanto es mucho más probable que éstos tengan problemas de movilidad en mayor o menor grado. Dichos problemas les afectarán a la hora de acceder al interior de los vehículos, suponiendo en los casos más desfavorables, grandes esfuerzos para la persona. No se hace referencia a las personas que necesitan silla de ruedas para desplazarse ya que los vehículos necesarios son adaptados para ese fin y por tanto se alejan de la problemática de los vehículos serie.

Por tanto la problemática se centra en la dificultad que puede suponer para las personas mayores con problemas de movilidad, las maniobras que tienen que realizar para acceder y salir de los vehículos convencionales, con el objetivo de obtener una valoración lo más objetiva posible de la accesibilidad de dichos vehículos.

### *1.1. Estado del arte*

Las mejoras en accesibilidad introducidas en los vehículos de transporte de pasajeros son especialmente evidentes en los vehículos de gran capacidad [1], sin embargo son menos evidentes en los vehículos tipo turismo salvo en el apartado de los vehículos adaptados. La principal diferencia de los vehículos turismo respecto a otro tipo de vehículos de transporte de pasajeros es la variedad de diseños de carrocería disponibles en el mercado. Esto hace que la accesibilidad pueda valorarse a priori por las dimensiones de los accesos al interior del vehículo y por el espacio disponible dentro del habitáculo.

Existen estudios como [2] basados en encuestas subjetivas sobre la accesibilidad de las plazas traseras de un habitáculo de medidas variables procedente de un turismo serie. Una característica especial de este estudio es la captura de los movimientos de las personas al acceder y salir del habitáculo utilizando la tecnología de la época, que con sus limitaciones no difiere en el método de captura de movimiento de los sistemas profesionales actuales.

También existen estudios más recientes como [3] en el que se analiza la dificultad de un grupo de personas desde jóvenes hasta mayores con diversos problemas de movilidad para acceder al asiento del conductor en una serie de vehículos de diferentes tamaños. De nuevo, el análisis se basa en cuestionarios subjetivos sobre cada vehículo probado y se realizan las capturas de los movimientos de entrada y salida de los vehículos utilizando un sistema de captura profesional multi-cámara con tecnología basada en marcadores luminosos adheridos a la ropa.

Un estudio muy reciente [4] analiza la accesibilidad de una serie de vehículos en función de las variaciones en la frecuencia cardiaca de un grupo de personas mayores. La clasificación de los vehículos se realiza a través de varios métodos de valoración energética basados en el ritmo cardiaco y en la duración de la actividad a analizar. En el desarrollo del estudio se realizan grabaciones de las maniobras pero solo para comprobar la repetibilidad de las mismas. Este estudio busca eliminar el carácter subjetivo que tenían el resto de estudios presentados y se basa en datos medibles recogidos en una serie de experimentos.

Dado que este estudio pretende analizar la accesibilidad a partir de las maniobras que realizan las personas para acceder y salir de los vehículos. Para ello es necesario capturar dichas maniobras mediante un sistema de captura de movimiento, que a su vez puede basarse en diferentes tecnologías. La tecnología más utilizada es la basada en marcadores luminosos adheridos al cuerpo aunque los avances en tecnologías informáticas tanto en software de reconocimiento como en hardware de captura. Nuevos sistemas se están introduciendo en el trabajo con personas mayores en el campo de la rehabilitación postoperatoria [5] [6] como el sistema Kinect de Microsoft. Este sistema, a diferencia de los empleados hasta ahora no requiere de marcadores adheridos, sino que utiliza un software de reconocimiento semejante al que se emplea en el reconocimiento de objetos, pero adaptado a la morfología de las personas.

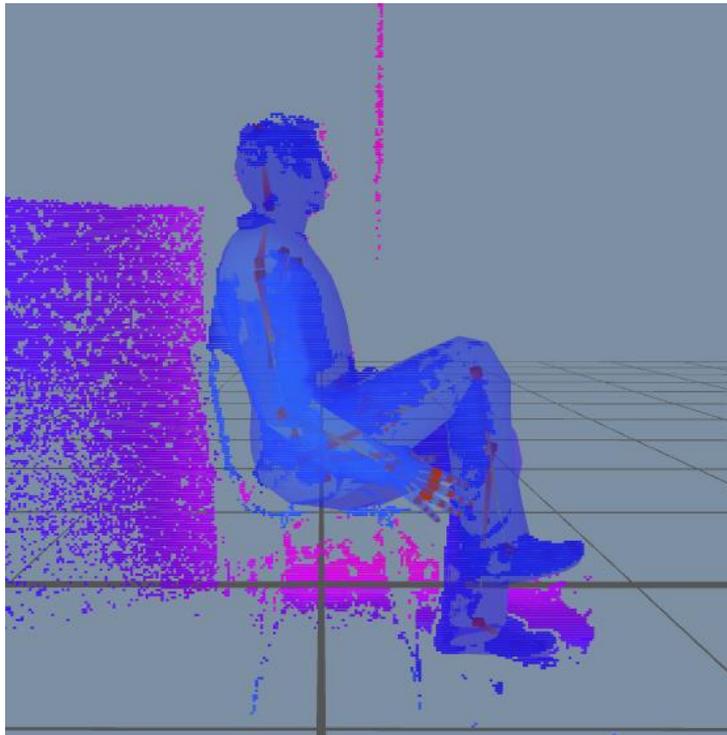
Para el estudio de los esfuerzos requeridos para realizar los movimientos capturados recientemente se ha desarrollado software de simulación [7] orientado a analizar cinemática y dinámicamente simulaciones de movimiento. Dicho software trabaja sobre modelos musculo-esqueléticos del cuerpo humano escalables mediante simulación directa o inversa, es decir, activando músculos para realizar movimientos, o bien, analizar el trabajo de los músculos a partir de un determinado movimiento. Este último modo de funcionamiento es el indicado para el objetivo.

Por lo tanto el objetivo final que se plantea es obtener una valoración objetiva de la accesibilidad de un vehículo basándose en los esfuerzos necesarios y energía consumida en las maniobras de acceso y salida, realizando la captura de los movimientos mediante el sistema de captura de movimiento Kinect, con especial interés en las personas mayores.

## **2. Metodología**

La metodología a seguir se divide en varios puntos. El primero es evaluar el sistema de captura de movimiento Kinect y especialmente su capacidad para realizar el seguimiento de los movimientos en los habitáculos de los vehículos. La primera parte de este punto se centra en analizar en diferentes escenarios con obstáculos, los diferentes problemas que podrían aparecer también en los habitáculos, como pueden ser las ocultaciones de partes del cuerpo debido a los obstáculos o la presencia de superficies reflectantes. Para el post-tratamiento de las imágenes capturadas se cuenta con el software especializado IPISoft Mocap Studio 3, preparado para trabajar con Kinect. En la figura 1 puede verse la imagen de un ensayo en el que se comprueba la capacidad del sistema

para seguir las partes del cuerpo que quedan ocultas total o parcialmente al sentarse en una silla colocada de lado. Esta situación es similar a la que puede ocurrir una vez que una persona está sentada en el asiento del vehículo.



**Figura 1:** Captura de ensayos con obstáculos

El siguiente punto es analizar los movimientos capturados sobre un modelo músculo-esquelético escalado a las proporciones de la persona que realiza los movimientos. Este proceso se realiza con la ayuda del software de simulación OpenSim desarrollado en la Universidad de Stanford, EE. UU.. Con este programa se realiza tanto el análisis cinemático como el dinámico de los movimientos capturados. El análisis obtenido da información sobre los esfuerzos realizados por los músculos. Posteriormente se deberá analizar el nivel de activación de los distintos músculos para poder obtener el consumo energético de los mismos.

### 3. Resultados

Se han capturado una serie de movimientos en escenario libre para analizar los resultados que se obtienen una vez introducidos en el programa de simulación OpenSim. El programa de captura y post-procesado de movimientos proporciona datos geométricos sobre la posición de una serie de marcadores virtuales situados en puntos de articulación del cuerpo, como por ejemplo, las rodillas o los hombros. Para que la transferencia de los datos de posición entre el Mocap Studio y OpenSim sea correcta y los puntos de interés capturados se correspondan con los mismos puntos en el modelo músculo-esquelético y el error de escalado sea el mínimo posible. En el modelo utilizado para estos movimientos en escenario libre, el error cuadrático medio de posicionamiento de los 23 marcadores virtuales transferidos a OpenSim ha sido de 0,023 m, siendo el máximo de 0,057 m para el marcador de la mano derecha. Con un modelo más avanzado, el objetivo que se plantea alcanzar es de 0,01 m de error cuadrático medio y un error máximo inferior a 0,02 m en el proceso de escalado del modelo.

El nivel de errores alcanzado en este proceso, influye en la bondad de los resultados cinemáticos posteriores ya que una vez situados y enlazados, los marcadores quedan fijos al modelo y su movimiento se rige solo por los datos de posición capturados.

El modelo utilizado solo tiene implementados los músculos de la mitad inferior del tronco, pero es suficiente para analizar movimientos como la flexión de la pierna como puede verse en la figura 2, correspondiente a uno de los ensayos.



**Figura 2:** Modelo músculo-esquelético utilizado

Tras el análisis cinemático inverso se pasa al análisis dinámico en el que el programa calcula la fuerza que necesitan desarrollar los músculos para la realización de los movimientos. Del análisis dinámico se pueden obtener resultados como los mostrados en la figura 3.



**Figura 3:** Gráfica de momentos agregados

En la parte izquierda de la gráfica pueden observarse dos zonas con mucha variación. La primera corresponde con el levantamiento de la rodilla derecha y la segunda con el levantamiento de la rodilla izquierda. La gráfica

muestra de forma agregada el momento resultante de los grupos musculares que intervienen en cada movimiento de las diferentes articulaciones.

La información también puede mostrarse de manera desagregada por músculo como en la figura 4, en la que se muestra la flexión de la cadera derecha.



**Figura 4:** Gráfica de momentos desagregados

En la gráfica se muestra la flexión agregada y la contribución por separado de todos los grupos musculares que intervienen en el movimiento. La meseta entre los picos de la línea agregada se corresponde con el momento necesario para sostener la pierna completa en el aire.

## 4. Conclusiones

Como conclusión se puede destacar el gran potencial que tiene tanto el hardware utilizado como las herramientas de software empleadas en una fase todavía inicial del proyecto. El sistema de captura de movimiento Kinect permite obtener resultados más que aceptables con el añadido de un coste muy inferior a otros sistemas más profesionales y además existe la posibilidad de combinar dos cámaras Kinect capturando de forma simultánea. En cuanto a los modelos músculo-esqueléticos, la primera aproximación ha sido satisfactoria.

Como desarrollo futuro queda la introducción del entorno vehículo en las capturas, la modelización completa del sistema músculo-esquelético y el desarrollo del modelo de valoración energética a partir de los niveles de activación muscular. Junto con la adaptación al grupo de población objetivo, las personas mayores.

## 5. Referencias

- [1] U. Rutenberg. Access to Over the Road Buses for Passengers with Disabilities, TRANSED, Montreal, Canadá, (2007).
- [2] J. Giacomini. An analysis of human comfort when entering and exiting the rear seat of an automobile, Applied Ergonomics, 28 5/6, (1997), 397-406.
- [3] E. Chateaux. Difficulties of elderly and motor impaired people when getting in and out of a car, TRANSED, Montreal, Canadá, (2007).
- [4] N. Álvarez. Experimental protocol to assess the tourism vehicles accessibility based on heart rate and access time measurements, XII Congreso de Ingeniería Mecánica, Valencia, España, (2016).

- [5] S. Obdržálek. Accuracy and Robustness of Kinect Pose Estimation in the Context of Coaching of Elderly Population. 34<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Diego, California, EE.UU., (2012).
- [6] A. Fernández-Baena. Biomechanical Validation of Upper-body and Lower-body Joint Movements of Kinect Motion Capture Data for Rehabilitation Treatments, Fourth International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, Bucarest, Rumanía, (2012).
- [7] S. L. Delp. OpenSim: Open-Source Software to Create and Analyze Dynamic Simulations of Movement, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 54, (2007), 1940-1950.