



Desarrollo de un conductor virtual para analizar las funciones de un vehículo autónomo potencial

Juan Manuel Belda Lois^{1,2},
Helios de Rosario Martínez^{1,2},
Javier Esteban Muñoz¹,
Nicolás Palomares Olivares¹,
José S. Solaz Sanahuja¹,
Elisa Signes Pérez¹

¹ Instituto de Biomecánica (IBV). Universitat Politècnica de València. Edificio 9C. Camino de Vera s/n. (E-46022) Valencia. España

² Grupo de Tecnología Sanitaria del IBV, CIBER de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN)

El análisis de los nuevos sistemas de ayuda a la conducción y a bordo conlleva el uso de pruebas complejas y caras. La clave para garantizar la seguridad y reducir los costes de desarrollo es la posibilidad de analizar la complejidad y los riesgos del conductor, relacionados con el uso de estos sistemas, desde las fases iniciales del desarrollo.

Con este fin se ha desarrollado un modelo cognitivo (diagrama de cuadros que representa el proceso de reflexión de una persona en ciertas tareas o actividades) del conductor del vehículo. El modelo incluye los tres niveles diferentes de decisión necesarios para una conducción correcta: estratégico, de navegación y de control. El modelo se ha aplicado como un Modelo de Evento Discreto e incluye una Memoria Declarativa y un Modelo de Análisis de Carga de Trabajo Avanzado. Actualmente, ya se ha aplicado un escenario modificado de *Lane Change Test* (LCT) (prueba de cambio de carril) y está a punto de validarse con usuarios reales. En los meses próximos, el Modelo debería ser capaz de conducir solo el LCT en la plataforma de simulación del Instituto de Biomecánica (IBV), emulando el comportamiento de los usuarios reales.



Desarrollo de un conductor virtual para analizar las funciones de un vehículo autónomo potencial

INTRODUCCIÓN

La conducción es una tarea compleja y potencialmente peligrosa que implica mecanismos de atención y acciones de control en diferentes niveles cognitivos (*el proceso de pensamiento*) y diferentes escalas temporales: Los conductores necesitan tomar una serie de medidas para llegar a su lugar de destino. Además, estas medidas interfieren con el estado del tráfico y las condiciones medioambientales. Para lograrlo, los conductores deben utilizar tareas cognitivas (*nivel de proceso de pensamiento que ha conseguido una persona o que está utilizando para solucionar un problema específico*) que implican una planificación estratégica, pero

también un control sofisticado y aspectos de coordinación motora (humana).

El aumento de la automatización del vehículo y de los sistemas de información del vehículo (IVIS) presenta nuevas limitaciones en la actividad de conducción (Cacciabue 2007) y por ello hay que profundizar en el modelado cognitivo.

Para poder abordar este escenario complejo, se han producido diferentes enfoques para modelar el comportamiento



Figura 1

Ejemplo de una situación de conducción.



de los conductores de vehículos que se pueden clasificar en (Engström and Hollnagel 2007):

- Modelos taxonómicos: son modelos descriptivos o inventarios de hechos que proporcionan una descripción de las tareas relacionadas con la conducción, sin profundizar en las causas de dichos hechos. Los modelos taxonómicos se construyen mediante el análisis de tareas y se utilizan para definir la complejidad de la actividad que se ha analizado, para detectar puntos críticos, posibles errores, etc. Sin embargo, no hay posibilidad de establecer lo que puede pasar, en realidad, en diferentes circunstancias.
- Modelos funcionales: una diferencia principal entre los modelos taxonómicos y funcionales es que los últimos conectan componentes de las tareas que realiza el conductor con requisitos de tiempo y limitaciones. Los modelos funcionales pueden definir la dinámica del comportamiento del conductor y predecir problemas y decisiones que toman los conductores.

Los **modelos funcionales** incluyen los **modelos cognitivos**, mencionados antes, en los que los procesos mentales del conductor determinan qué tarea se realiza en cada momento y el nivel de rendimiento conseguido por el conductor humano. Hay modelos cognitivos sofisticados, como los denominados «arquitecturas cognitivas» que son, potencialmente, una herramienta potente para un mejor análisis de los problemas y de los riesgos que pueden surgir durante las tareas complejas. No obstante, dichas arquitecturas cognitivas se han utilizado pocas veces en modelos de conductores de vehículos, con algunas

excepciones (Rosenbloom *et al.* 1991), (Salvucci 2006). El inconveniente principal en los enfoques basados en las arquitecturas cognitivas es la interacción de los diferentes niveles de control necesarios para la conducción mientras dichas arquitecturas están destinadas a aprovechar únicamente uno de estos niveles.

Un enfoque diferente que implica la simulación funcional y el modelado de las limitaciones cognitivas humanas es *Improved Performance Research Integration Tool* (herramienta de integración de investigación del rendimiento mejorada) (Kandemir, Handley, and Thompson n.d.) (IMPRINT) desarrollada por US Army Research Laboratory (ARL).

IMPRINT utiliza dos enfoques:

- Para el modelado, IMPRINT utiliza un enfoque de **Modelo de Evento Discreto** en el que cualquier cambio del contexto (la percepción de algo en la carretera o el vehículo, una actuación del conductor, un cambio en el movimiento del vehículo, o cualquier cosa que pueda ocurrir) se define como un «evento» y un escenario de conducción es una secuencia de eventos en el tiempo. Puede que algunos eventos estén predestinados a ocurrir (p.ej. el semáforo se pone rojo), o se activen por la combinación de procesos pasados y algunas reglas definidas en el sistema.
- En los componentes cognitivos, IMPRINT utiliza el *Advanced Workload Analysis* (**análisis de carga de trabajo avanzado**) (Mitchell 2000), que está destinado principalmente a estimar la carga de trabajo. En ese



enfoque, todos los procesos de percepción, razonamiento, decisión o actuación implicados en una tarea, interactúan entre y así se calcula una cantidad de la «carga de trabajo cognitiva» (nivel de esfuerzo mental medible empleado por un individuo en respuesta a una o varias tareas cognitivas) cuando se usan los recursos cognitivos de una persona y las demandas de los componentes de tareas. Dichos modelos pueden determinar la evolución

de la carga de trabajo del conductor en un escenario y los tiempos de respuesta resultado del procesamiento de la carga de trabajo realizada por el conductor.

Hemos empleado este enfoque para desarrollar un modelo de conductor de vehículo que mejore el modelo, teniendo en cuenta los dos niveles inferiores que participan en la conducción: El control del vehículo y el control motor (control de movimientos corporales).





DESARROLLO DEL MODELO

Las tareas del conductor (p. ej. pasar a otro carril de la carretera, cambiar el modo de conducción, mirar la carretera) se codifican como «procesos» que son secuencias de eventos que activan o interrumpen otros procesos y eventos, y van acompañados por cálculos que modifican el entorno, por ejemplo la posición y la dinámica del vehículo, señales que aparecen a la vista del conductor, etc. Esos procesos operan a muchos niveles, de modo que las tareas complejas se definen de forma modular: al nivel más bajo, hay procesos de *timeout* cuyo único efecto es el paso de una cantidad de tiempo definida. Tomando como base esos *timeouts*, se definen acciones cognitivas o tareas de control motor básicas, como mirar a la carretera, reconocer una señal, manejar el volante, etc. Las tareas más complejas como el control del vehículo, cambio de carril, cambio de modo de conducción, etc. se modelan con combinaciones o repeticiones de esas tareas atómicas tales como el tiempo que requieren o su resultado puede verse afectado por la interacción entre los muchos procesos y los sub-procesos que se ejecutan al mismo tiempo.

El modelo incluye los componentes siguientes (Figura 2):

- Los elementos del entorno que limitan la decisión del conductor (otros vehículos, la carretera, el IVIS, señales, etc.).
- Un modelo de *Advanced Workload Analysis* (análisis de carga de trabajo avanzado).
- Un modelo de aprendizaje para ajustar el rendimiento de tareas de modo flexible.

El *Advanced Workload Analysis* (análisis de carga de trabajo avanzado) ha sido modelado con las estimaciones de la

carga de trabajo de las publicaciones (Bierbaum, Szabo, and Aldrich 1989). En ese modelo, las tareas cognitivas del conductor son procesos especiales con un tiempo de ejecución predefinido, que también consumen una cantidad variable de capacidad de trabajo, dependiendo de la cantidad y del tipo de tareas simultáneas. Un conjunto de reglas para priorizar e interrumpir tareas cognitivas simula las demoras en la ejecución de las tareas debido a la dificultad de realizar varias tareas en conflicto al mismo tiempo. Cada vez que se inicia una nueva tarea, hay una evaluación y, dependiendo de la prioridad y de la carga disponible, se puede realizar, retrasar o se puede interrumpir una tarea con prioridad menor y dejarla para su posterior continuación.

El modelo de aprendizaje se basa en el concepto de «memoria declarativa» una arquitectura cognitiva utilizada en la Inteligencia Artificial (Anderson, Matessa, and Lebiere 1997). Este modelo adapta el tiempo que se define para la ejecución de las tareas cognitivas, basándose en el número de veces y en lo recientemente que se han hecho esas tareas o se han evocado en el pasado reciente.

El modelo se ha aplicado para simular una versión modificada de *Lane Change Test* (LCT) (prueba de cambio de carril) tal como se describe en la ISO 26022:2010 (en). Esta simulación implica los tres niveles de control requeridos para la conducción:

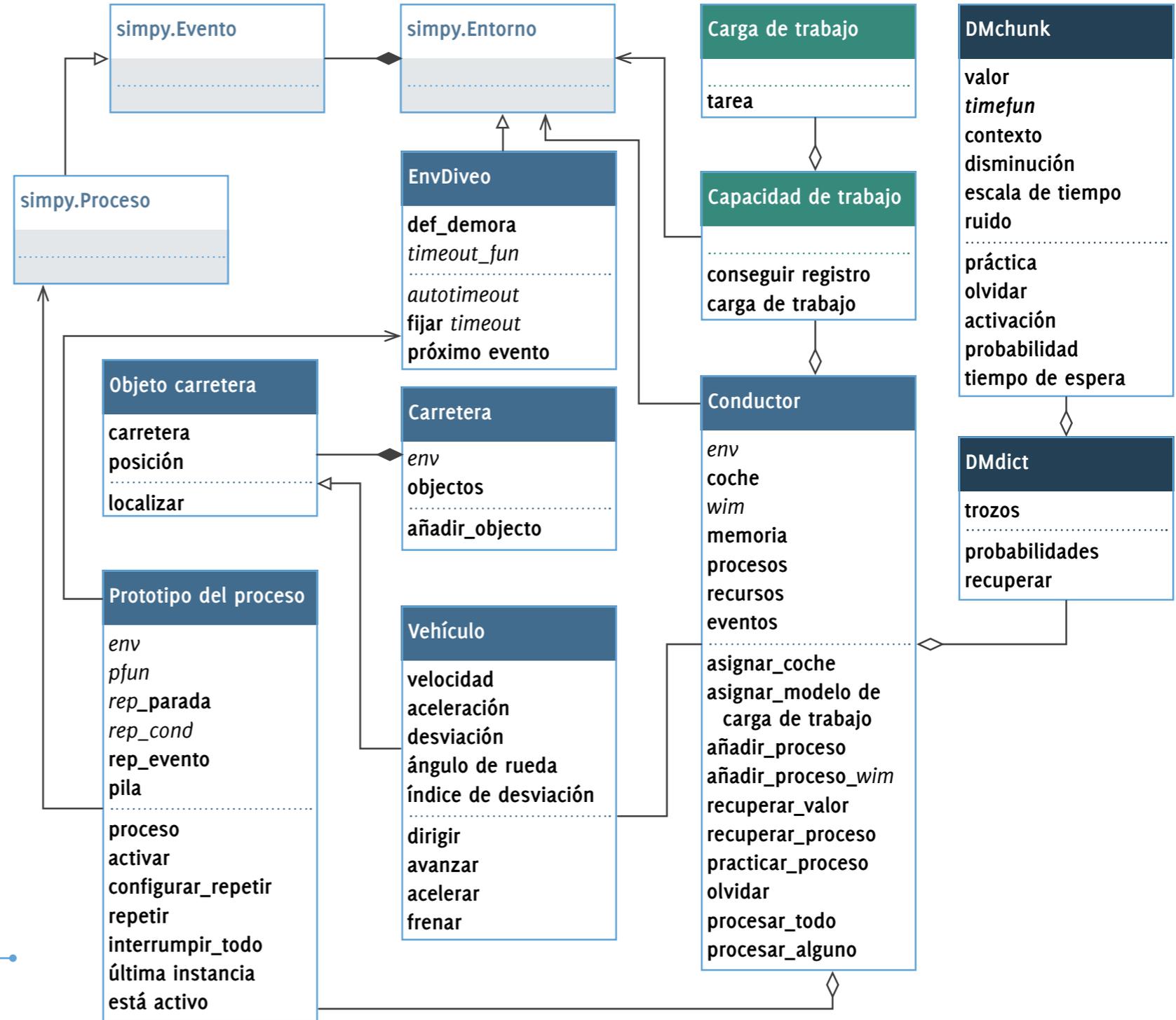
- **Control estratégico** se determina con *Lane Change Test* (la prueba de cambio de carril), y consiste en conducir recto durante 3 km.



- **Navegación**, se simula con el *Advanced Workload Analysis* (análisis de carga de trabajo avanzado) y tiene en cuenta los procesos de decisión con el tiempo requerido para llevarlos a cabo.
- **Control motor**, se simula por el modelo de memoria declarativa y el modelo de girar el volante por el modelo de Salvucci (2006).

Figura 2

Gráfico con los componentes para la simulación de conductor cognitiva. Los cuadros con la franja blanca son los componentes del lenguaje de programación. Los cuadros con la franja azul claro son los componentes del modelo de control medioambiental. Los cuadros con la franja azul oscuro son los componentes de la simulación de memoria declarativa. Los cuadros con la franja verde son los componentes del *Advanced Workload Analysis* (análisis de carga de trabajo avanzado).





ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Lane Change Test (la prueba de cambio de carril) simula a un conductor en un vehículo autónomo tomando el control del coche y recuperando el control tras la conducción autónoma mientras se tiene que gestionar un cambio de carril correcto en función de las señales presentes en el entorno (Figura 3).

En este supuesto, la decisión del cambio de carril interfiere con la decisión de ejecutar los comandos relacionados con el sistema autónomo.

Figura 3

Representación gráfica de los estados de conducción del modelo: La simulación emula la transición de AV a manual.





RESULTADOS

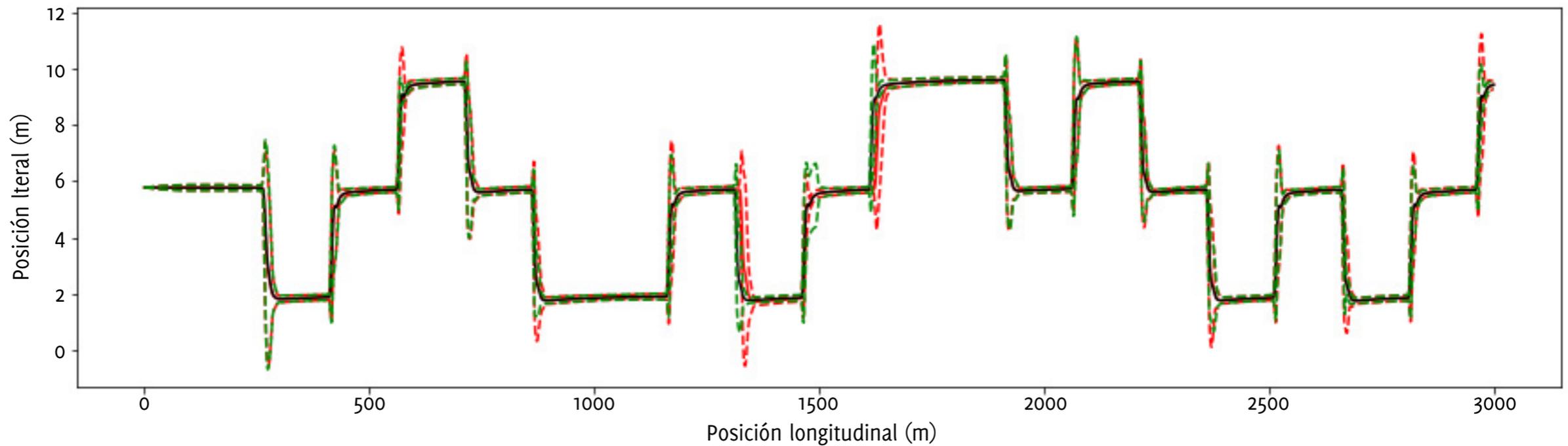
Se han ejecutado 100 simulaciones de modelo cognitivo teniendo en cuenta tareas secundarias (cambio de manual a automático y de automático a manual) y 100 simulaciones sin tener en cuenta las tareas secundarias. Las 100 simulaciones se han llevado a cabo en la prueba *Lane Change Test* (LCT) (prueba de cambio de carril) en un circuito de 3000 metros en el mismo circuito simulado. Se ha utilizado el mismo circuito en todas las pruebas para hacer comparacio-

nes. En las simulaciones con tarea secundaria, los eventos de cambio automático a manual y manual a automático se han añadido en las mismas posiciones.

Los resultados de ambos modelos muestran (Figura 4) una mayor variabilidad en el momento de girar y demoras en la decisión de girar. La demora es más clara cuando hay varias tareas simultáneas (consulte la coordenada x igual a 1400 en la figura).

Figura 4

Comparación de las trayectorias de simulaciones de conducción del modelo cognitivo (en rojo) y sin tarea secundaria (en verde). Se pueden observar retrasos en la decisión de girar cuando hay carga de trabajo cognitiva provocada por la tarea secundaria.





CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se ha aplicado un modelo cognitivo en un Enfoque de Evento Discreto. Este modelo tiene la flexibilidad de adaptarse a una amplia gama de ejemplos del mundo reales. Actualmente se ha simulado una versión modificada de *Lane Change Test* (la prueba de cambio de carril). Los resultados de la prueba están a punto de ser validados con usuarios reales. □

Agradecimientos

El trabajo actual se ha elaborado en el marco del proyecto DIVEO. El proyecto DIVEO está financiado por IVACE dentro del programa de subvenciones dirigidas a los centros tecnológicos de la Comunidad Valenciana para el desarrollo de los proyectos de I+D no económicos realizados en colaboración con empresas para el año fiscal 2017. Está co-financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en un porcentaje de 50% a través del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

Referencias

- Anderson, J. R., Matessa, M., and Lebiere, C. (1997) ACT-R: A Theory of Higher Level Cognition and Its Relation to Visual Attention. *Human-Computer Interaction* **12**(4), 439-462.
- Bierbaum, C. R., Szabo, S. M., and Aldrich, T. B. (1989) *Task Analysis of the UH-60 Mission and Decision Rules for Developing a UH-60 Workload Prediction Model. Volume 1. Summary Report*. ANACAPA SCIENCES INC FORT RUCKER AL. <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA210763>.
- Cacciabue, C., (2007). *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments: Critical Issues in Driver Interactions with Intelligent Transport Systems*. London: Springer.
- Engström, J., and Erik H. (2007). A General Conceptual Framework for Modelling Behavioural Effects of Driver Support Functions. In *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*, 61-84. Springer. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84628-618-6_4.
- Kandemir, C., Handley, H. A. H., and Thompson, D. n.d. (2016) A Workload Model to Evaluate Distracters and Driver's Aids. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Accessed 22 September 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.09.004>.
- Mitchell, D. K. (2000) *Mental Workload and ARL Workload Modeling Tools*. DTIC Document. <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA377300>.
- Rosenbloom, P. S., Laird, J. E., Newell, A. and McCarl, R. (1991). A Preliminary Analysis of the Soar Architecture as a Basis for General Intelligence. *Artificial Intelligence* **47**(1), 289-325.
- Salvucci, D. D. (2006). Modeling Driver Behavior in a Cognitive Architecture. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* **48**(2), 362-380.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple Resources and Performance Prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* **3**(2), 159-177.