

## **GENERACIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO DE IVIS PARA EL INCREMENTO DE LA SEGURIDAD VIAL**

**Helios de Rosario Martínez**

Instituto de Biomecánica de Valencia

**José Solaz Sanahuja**

Instituto de Biomecánica de Valencia

**Rafael Martínez Durá**

Instituto de Robótica. Universidad de Valencia

**Marta Pla Castells**

Instituto de Robótica. Universidad de Valencia

**Pedro M. Valero Mora**

Instituto de Tráfico y Seguridad Vial. Universidad de Valencia

**Mar Sánchez García**

Instituto de Tráfico y Seguridad Vial. Universidad de Valencia

**RESUMEN:** Se ha creado y puesto a prueba un laboratorio con un simulador de conducción de código abierto, y una plataforma configurable para la programación de prototipos de In-Vehicle Information Systems (IVIS), con el objetivo de medir el impacto del diseño del IVIS sobre la seguridad vial, y generar una serie de criterios de diseño. El experimento que se presenta en esta comunicación evalúa el uso de un IVIS con funciones de telefonía, infotainment y navegación, empleado mientras se conduce para realizar una llamada, y analizando la eficacia en el uso, la carga mental y la influencia sobre el control del vehículo. Se estudia especialmente el efecto de un interfaz manejado por voz, en contraste con un interfaz manejado manualmente, valorando cómo afecta la frustración producida por situaciones en las que el reconocimiento de voz es problemático.

## 1 INTRODUCCIÓN

El creciente uso de dispositivos nomádicos en el automóvil ha despertado una gran preocupación desde el punto de vista de su incidencia en la accidentalidad. Así, cuestiones relacionadas con estos dispositivos han sido tratadas en los proyectos del sexto programa marco tales como AIDE o la red de excelencia HUMANIST, y se han realizado iniciativas en relación con el foro eSafety.

Uno de los principales problemas que se presentan reside en la potencial infinidad de funciones que pueden llegar a integrarse en el IVIS de un automóvil. Los IVIS están dejando de ser aplicaciones cerradas con un número limitado de funciones provistas por el fabricante, transformándose progresivamente en plataformas informáticas que admiten funciones nuevas o ampliadas mediante actualizaciones de software, o la conexión de otros aparatos (teléfonos, agendas electrónicas, unidades de almacenamiento, etc.) mediante conexiones estándar o de forma inalámbrica. Esto provoca que la complejidad de manejo de los IVIS crezca, pudiendo interferir peligrosamente en la conducción. Las estrategias habituales para controlar este riesgo se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- (a) Bloquear las funciones de mayor complejidad y menor importancia para la conducción en situaciones que requieran mayor demanda cognitiva para conducir (en función de la velocidad del vehículo, en situaciones de riesgo, etc.). El inconveniente de esta estrategia es que puede aumentar la frustración del usuario, pudiendo llegar a ser contraproducente si se distrae en intentar acceder a la función de todos modos; además también se impide la utilización segura de las funciones por parte del copiloto, lo cual se puede considerar una limitación innecesaria de las prestaciones del sistema.
- (b) Estandarización y unificación de interfaces, para reducir la complejidad de manejo a pesar de aumentar las funciones. Ésta es una estrategia de diseño que consiste en utilizar un mismo mando, con un número de acciones físicas limitadas, para múltiples funciones. Es el principio con el que están diseñados tanto algunos interfaces integrados como kits de manejo por Bluetooth de dispositivos nomádicos. Teóricamente esta forma de interactuar requiere una carga cognitiva menor, al tener que recordar una cantidad menor de acciones posibles, y seguir todas las aplicaciones un solo modelo coherente de funcionamiento.

(c) Aumentar la multimodalidad de los interfaces. Este concepto, proveniente de la ingeniería informática, está orientado a facilitar una interacción “natural” entre el hombre y la máquina, utilizando para ello las distintas vías de comunicación y percepción que se usan en otros contextos (Dutoit et al. 2006). En el ámbito de la automoción la línea de trabajo más común en la actualidad es la interacción por voz, que permite liberar los canales táctiles, y sobre todo el visual, para la conducción. Sin embargo, existe en la actualidad una limitación tecnológica para el reconocimiento perfecto de los mensajes verbales, debido a problemas de ruido, variabilidad en la expresión oral, etc., que introduce una inevitable tasa de errores en este tipo de interacción. Estos errores en el reconocimiento de voz, si son muy frecuentes, pueden dar lugar a un funcionamiento menos eficaz que una interacción manual convencional. (Shneiderman, 2000).

El objetivo del proyecto que se ha llevado a cabo es generar una herramienta de evaluación de IVIS de uso general, que permita una comprobación rápida de las implicaciones para la seguridad de este tipo de dispositivos. Para ello se ha creado un laboratorio experimental, formado por un simulador de conducción y una plataforma configurable de IVIS, que permite integrar en ella una gran variedad de prototipos de IVIS, con botones físicos y pantalla táctil. También se han desarrollado unos protocolos para evaluar en esta laboratorio la medida en que el diseño del IVIS afecta a la conducción, que se han puesto a prueba experimentalmente.

## **2 MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1 Simulador de conducción e IVIS**

El laboratorio experimental está formado por una carrocería real, con dos PC integrados que controlan el funcionamiento del simulador de conducción y la plataforma de IVIS, respectivamente.

El simulador de conducción se ha desarrollado utilizando como motor gráfico el simulador “The Open Racing Simulator” (TORCS, <http://torcs.sourceforge.net/>). Éste es un motor de código abierto (con licencia GPL), flexible y fácilmente escalable y modificable de manera que puede adaptarse para obtener una nueva aplicación enfocada a otros usos, como es el caso del presente experimento. Al ser un simulador orientado por su diseño a juegos de carreras, ha sido necesario realizar numerosas adaptaciones que resuelvan sus limitaciones

originales. Así, el editor y el motor principal de simulación se han modificado para poder incorporar intersecciones y finales de calle sin salida; se ha cambiado la lógica de juego para gestionar un ejercicio de simulación, permitiendo que circule tráfico en ambos sentidos, y obviando los elementos específicos de una carrera; se han simplificado los menús para un control adecuado y simple de la simulación; se ha modificado el comportamiento de los “robots” (otros vehículos en el recorrido) para adaptarlo a las nuevas condiciones, y crear un flujo de tráfico semejante al de carretera; se ha incorporado el registro a tiempo real de diversos parámetros de la conducción (tiempo, ángulo de volante, velocidad, distancias al lateral del carril y el vehículo delantero, y tiempos de cruce de línea y de colisión); y se han realizado modificaciones gráficas para conseguir un aspecto realista en un escenario de carretera.

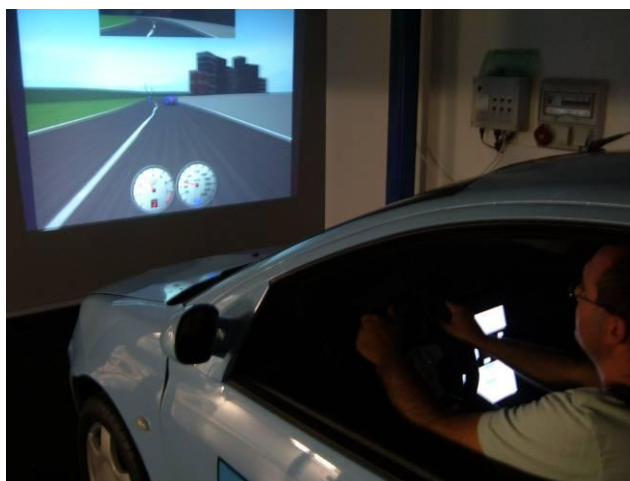


Figura 1. Simulador de conducción

La plataforma de IVIS está programada como una interfaz gráfica en Matlab, que presenta tres módulos diferenciados (figura 2): (a) una pantalla de información de tamaño 215x60 mm en la parte superior, (b) un panel de botones fijos en la parte media semejante a los de “aceptar/cancelar” y navegación direccional en teléfonos móviles, y (c) una pantalla táctil de tamaño 215x100 mm y configuración variable en la parte inferior. El panel de botones fijos se utiliza para las acciones más repetitivas; es intercambiable, y está formado por piezas móviles que actúan sobre la pantalla táctil que hay debajo, pero proporcionan un feedback físico más directo al usuario. Los botones han sido dimensionados conforme a las recomendaciones ergonómicas de Pheasant (1987).



Figura 2. IVIS en la pantalla inicial (izquierda), y en la función de agenda (derecha)

La respuesta del IVIS a las acciones directas del usuario (mediante el uso del panel y la pantalla táctil) está programada internamente; la respuesta a las acciones verbales es controlada remotamente por un investigador, sirviéndose de la técnica de “Wizard of Oz” (WOZ). Esta técnica se ha utilizado en otros estudios de interacción hombre-máquina por voz (Edlund et al., 2008; Gamm et al., 1997), y también en simuladores de conducción (Laurie et al., 1998). El IVIS está programado para presentar las funciones de teléfono móvil, infotainment y navegador GPS.

## 2.2 Procedimiento

En esta primera experiencia participaron 5 sujetos, que realizaron 20 pruebas de conducción y uso del IVIS. El experimento consistió en realizar un recorrido de conducción por una carretera de curvas suaves, y utilizar la función de teléfono del IVIS para realizar una llamada a un contacto programado de la agenda. Esta tarea se debía realizar varias veces durante el recorrido: una de forma manual, y de forma verbal con tres niveles de calidad en el reconocimiento de voz (95%, 75% y 60%). Estos niveles de calidad se simulaban mediante la técnica WOZ, introduciendo deliberadamente un número determinado de fallos del sistema de reconocimiento de voz. Previamente al ensayo se realizó un entrenamiento para adaptarse al manejo del simulador, y al comienzo de la fase de medición se dejó conducir durante 5 minutos sin tener que realizar la tarea secundaria.

El objetivo del procedimiento seguido era obtener medidas del control de la conducción en cada una de las condiciones de tarea secundaria. Era esperable que los resultados variaran no sólo en función de la tarea secundaria, sino también de la velocidad mantenida, por lo

que para controlar este segundo factor de variabilidad se introdujo un vehículo delante del conductor a una velocidad fija de 60 km/h, indicando al conductor que se había de mantenerse a una distancia fija del mismo.

Al finalizar cada una de las tareas se pasó un cuestionario de carga cognitiva al sujeto, conforme al método “Driver Activity Load Index” (DALI). Se trata de un método de medida multidimensional, análogo al popular índice de carga mental NASA-TLX (Hart y Staveland, 1998), pero especialmente adaptado a la actividad de conducción (Pauzie et al., 1995).

### **2.3 Análisis**

Para evaluar las características del IVIS se han analizado tres grupos de variables: las de control de la tarea primaria (conducción), ejecución de la tarea secundaria (llamada de teléfono) y carga mental.

Las variables de control de la conducción se dividen, asimismo, en medidas de control lateral y de control longitudinal. Entre las primeras, la más importante es el “Time to Line-Crossing” (TLC). La medida de control longitudinal más importante es el “Time to Collision” (TTC) con el vehículo de enfrente.

El método DALI para evaluación de la carga cognitiva da una medida multidimensional de la actividad mental del conductor, en base a los siguientes índices: “exigencia de atención”, “demanda visual”, “demanda auditiva”, “exigencia temporal”, “interferencia” y “tensión de la situación”. La idoneidad de estos índices para este tipo de situaciones, en las que se unen una tarea primaria de conducción con una secundaria de manejo de interfaces, ya ha sido validada en investigaciones precedentes (Pauzie et al., 2007).

El que cada sujeto pase por las distintas condiciones permite realizar un ANOVA de medidas repetidas sobre los resultados, que indique si el control sobre el vehículo, la ejecución de la conducción o la carga mental difieren significativamente en función de los elementos variables en el experimento, eliminando la influencia del factor sujeto.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Control de la conducción

La figura 3 muestra los TTC medios durante los tramos en los que se está actuando sobre el IVIS, y la diferencia entre el TTC en estos tramos y el TTC del mismo sujeto en el tramo de conducción sin tarea secundaria. Como se puede observar en esta figura, esta medida no se ve especialmente afectada en sus valores centrales, pero sí en su dispersión: el TTC entre conducción con y sin tarea secundaria, varía relativamente poco cuando el reconocimiento de voz es de alta calidad (V95; variación de 8.2 s entre la máxima y la mínima diferencia); pero en todos los demás contextos esta variación es mucho mayor (entre 43.7 s y 53.4 s).

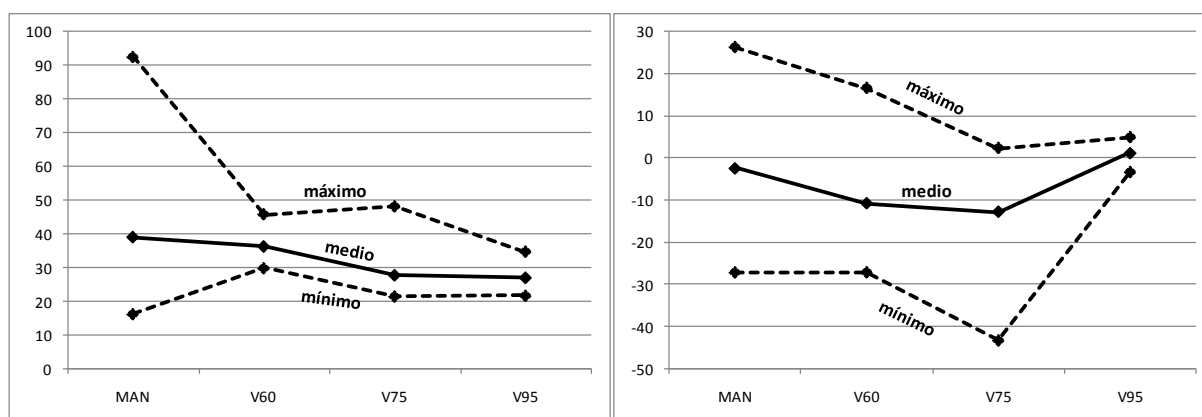


Figura 3. TTC promedio durante el manejo de IVIS (izquierda), y relativo respecto al TTC del mismo sujeto cuando únicamente está conduciendo (derecha). Los valores se dan en segundos.

Las medidas de control lateral no muestran diferencias importantes en función del modo de interacción. El valor medio del TLC varía entre 2.7 s y 3.4 s en las distintas condiciones. Sin embargo, es notable que si se compara el TLC medio durante el manejo del IVIS y el TLC medio durante la mera conducción del mismo sujeto, la diferencia es significativamente positiva ( $t = 10.48$ , sig.  $< 0.05$ ), con un valor medio de 2.1 s. Esto significa que, cuando los conductores operaban con el IVIS, sistemáticamente se alejaban del extremo del arcén.

#### 3.2 Ejecución de la tarea secundaria

La tarea secundaria fue realizada con éxito por todos los sujetos. El número de fallos o rectificaciones en el manejo por voz estaba predefinido en el experimento; en el manejo manual se produjeron errores por parte del usuario en un 10% de las operaciones, siempre

en la de selección del contacto de la agenda. Las tareas completas consumieron un tiempo medio de 64.1 segundos (desviación típica de 9.5 segundos). La figura 4 muestra la distribución de tiempo consumido en las diferentes pruebas.

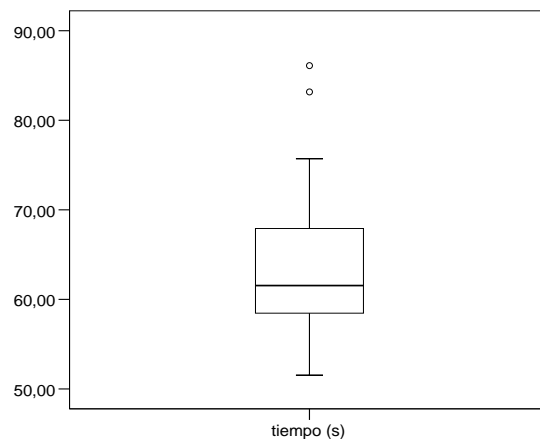


Figura 4. Tiempo de ejecución de la tarea secundaria

De este tiempo, un promedio del 42.5% se invertía en la comunicación en sí a través del IVIS, en la que el sujeto tenía que escuchar el mensaje de un contestador y responder al mismo. El resto del tiempo se invertía en la selección de la función y del contacto de la agenda. La proporción de tiempo empleada en cada una de estas operaciones dependía fundamentalmente de si la interacción era manual o verbal (figura 5): la selección de la función era significativamente más rápida con la interacción manual ( $F = 128.5$ ,  $\text{sig} < 0.05$ ), mientras que la selección del contacto (una operación más compleja) era más eficaz con la interacción verbal, aunque las diferencias eran menos acusadas ( $F = 25.305$ ,  $\text{sig} < 0.05$ ). Por otra parte, si el reconocimiento de voz era de alta calidad (V95) las fracciones de tiempo eran muy regulares (26.5% en la selección de función; 19.0% en la selección de la agenda); con otras calidades (V60, V75) las fracciones de tiempo variaban, pero sin diferencias significativas respecto a la alta calidad.

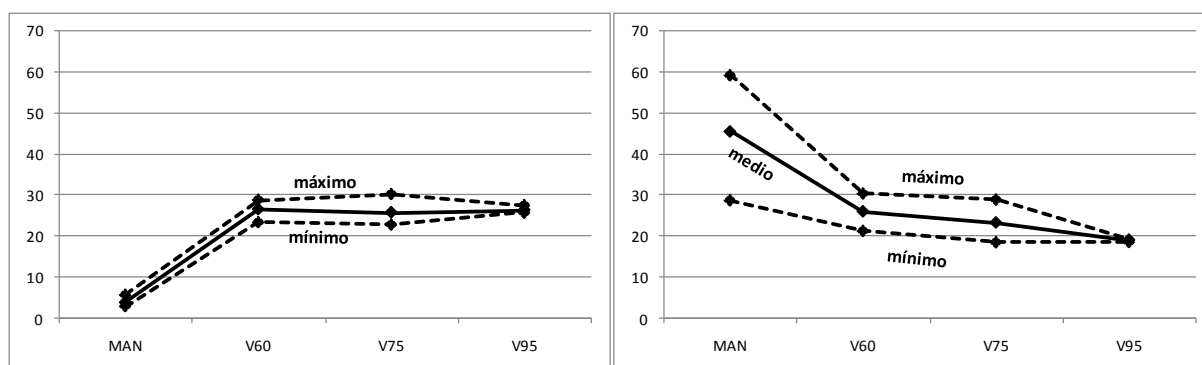


Figura 5. Porcentaje de tiempo consumido en la selección de función (izquierda) y la selección del contacto (derecha), dependiendo del modo de uso y la calidad en el reconocimiento de voz del IVIS.



Al comparar los tiempos de ejecución totales, las diferencias no se corresponden de manera tan clara en función de si la interacción es manual o verbal. La figura 6 muestra el exceso de tiempo en la realización de la tarea en función del modo de interacción, tomando como base el tiempo de ejecución medio de cada sujeto. Como se puede observar, para las dos mayores calidades (V95 y V75), el tiempo de ejecución es siempre menor que el promedio (exceso negativo); pero para la calidad del 60% (V60), el tiempo de ejecución aumenta hasta situarse a niveles similares a los de la interacción manual (MAN).

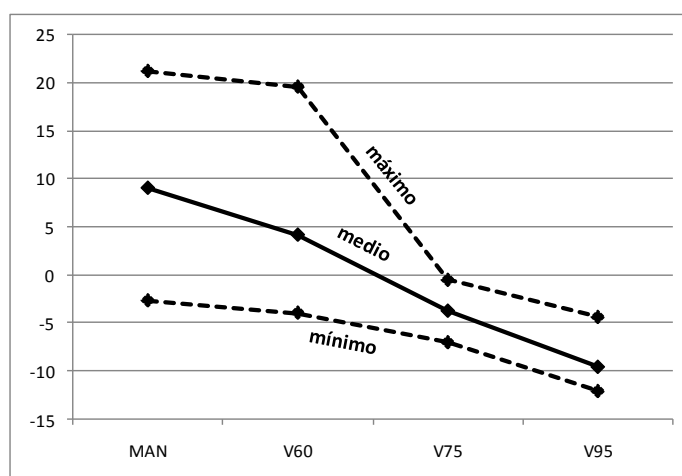


Figura 6. Excesos de tiempo de ejecución de la tarea (segundos)

### 3.3 Valoración subjetiva de la carga mental

En la valoración subjetiva de la carga mental, a través del método DALI, se ha encontrado que los usuarios atribuyen una carga mental mucho mayor al manejo manual del IVIS que al manejo por voz ( $F = 38.383$ ,  $\text{sig} < 0.05$ ), sin haber diferencias significativas entre las distintas calidades en el reconocimiento de voz (véase la figura 7). En la valoración individual de los distintos índices de carga mental, este mismo tipo de diferencias se aprecia en la exigencia de atención, la demanda visual y la interferencia entre las tareas, que son asimismo los tres índices que más pesan en la valoración total de la carga mental durante la conducción (figura 8).

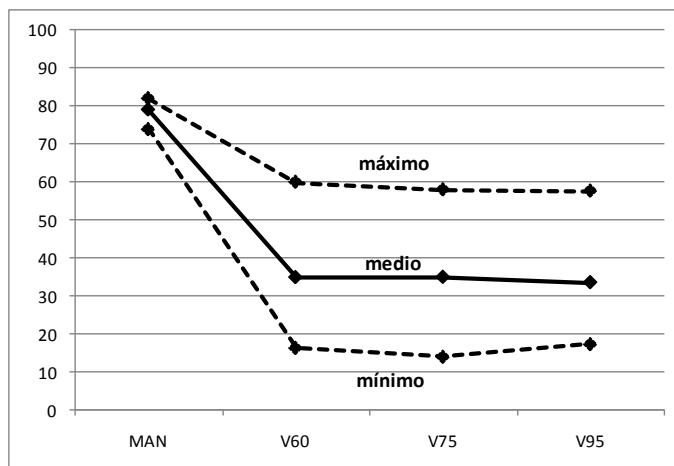


Figura 7. Índices de carga mental (sobre 100) en función del modo de interacción

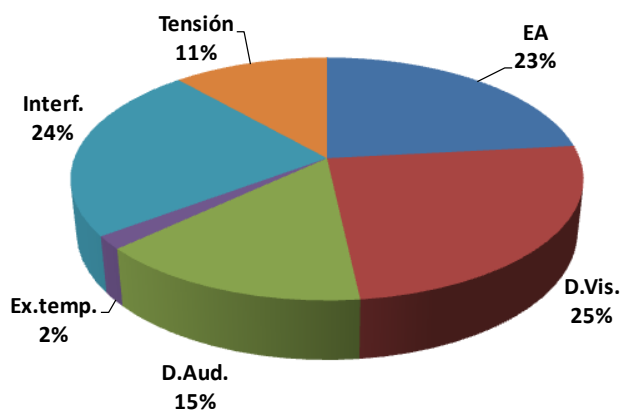


Figura 8. Promedio de la contribución de cada índice de carga mental sobre el resultado total. “EA”: Exigencia de atención; “D.Vis.”: Demanda visual; “D.Aud”: Demanda auditiva; “Ex.temp”): Exigencia temporal; “Interf”): Interferencia entre tareas; “Tensión”): Tensión de la situación.

#### 4 DISCUSIÓN

El experimento que se ha llevado a cabo ha permitido analizar las estrategias de los usuarios al utilizar un IVIS multifuncional para el desempeño de una tarea concreta, y estudiar sus efectos sobre la carga mental y el control de la conducción, en función del modo de interacción (manual o por reconocimiento de voz), y de la calidad en el sistema de reconocimiento de voz.

La valoración subjetiva de la carga mental, así como la distribución de tiempos en las distintas operaciones de las que se compone la tarea secundaria, dependen fundamentalmente del modo de interacción: el manejo manual produce una mayor carga mental percibida, y también hace que el tiempo se consuma principalmente en las

operaciones que implican mayores cantidad de información; en este caso, en la selección del contacto de la agenda, mientras que en la operación por voz el tiempo se distribuye de manera más homogénea entre las distintas operaciones que conforman la tarea. También sucede que todos los errores durante las operaciones manuales se concentran en las operaciones complejas, lo cual confirma que la multimodalidad está especialmente indicada para las tareas que requieren introducir informaciones más abundantes o complejas.

En cambio, cuando se evalúa la eficiencia total en el manejo del IVIS o el efecto sobre la conducción, la ventaja de los interfaces manejados por voz ha de matizarse. Las pruebas revelan que, en la realización de la tarea completa, sólo los sistemas que presentan mayor calidad en el reconocimiento de voz (por lo menos un 75% de aciertos) aventajan en eficiencia al manejo manual. En cuanto al control del vehículo, es aspecto fundamental de cara a la seguridad vial, se han observado los siguientes efectos:

(a) El TLC aumenta de forma sistemática cuando se está manejando el IVIS, de modo que el conductor aumenta en 2.1 s su distancia al arcén. Esto indica un comportamiento adaptativo, por el cual el conductor compensa el mayor riesgo de salirse de la calzada por un déficit en el control del vehículo, alejándose del margen lateral.

(b) El TTC se mantiene o disminuye ligeramente, en lugar de aumentar debido al comportamiento adaptativo; sin embargo este resultado está condicionado por el hecho de que se ordena al usuario mantener una distancia fija respecto al vehículo delantero. Por lo tanto, más que considerar el TTC medio, es de interés estudiar la variabilidad del TTC, es decir, en qué medida el conductor mantiene constante la separación respecto al vehículo que tiene que seguir. Si se considera la variabilidad el TTC en términos absolutos, ésta es mayor para el manejo manual que para el manejo por voz. Pero si se considera la variabilidad relativa, respecto al TTC observado cuando el conductor no está manejando el IVIS, la diferencia se encuentra entre el sistema por voz con mayor calidad y todos los demás sistemas.

La interpretación que puede dársele a estos resultados es que, en general, el usuario cambia su conducta de conducción para cumplir con las “reglas” (en este caso mantenerse dentro del carril y a una distancia concreta de otro vehículo). En el control lateral este cambio de conducta no se diferencia claramente en función de cómo esté interactuando con el IVIS; pero en el control longitudinal sí se observan diferencias en función de este factor. La habilidad para mantener la distancia de seguridad se mantiene casi intacta cuando se

utiliza un reconocimiento por voz sin errores, cuya respuesta es en todo momento igual a la esperada. Sin embargo, cuando el sistema responde con más o menos frecuencia de forma inesperada (fallos en el reconocimiento), el conductor tiene que aumentar y disminuir de forma más variable su velocidad para mantenerse a la distancia fijada, posiblemente porque se pierde el “automatismo” de la interacción entre usuario y máquina, y tiene que desviar parte de la atención dirigida normalmente a la conducción.

La calidad en el reconocimiento de voz es de especial interés industrial dado el actual estado de la tecnología, en el que se incentiva el uso de interfaces vocales para reducir las interferencias con la tarea de conducción, a pesar de que existen numerosas fuentes de ruido en el automóvil que suponen un obstáculo para el perfecto reconocimiento de la voz. Partiendo de las necesidades del usuario y no de los recursos tecnológicos, al simular distintos niveles de calidad en estos sistemas se obtienen unas referencias de “calidad mínima” que los interfaces vocales han de proporcionar para impedir la frustración del usuario, y conseguir que éstos supongan una ventaja real respecto a los interfaces manuales.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto de investigación ha sido subvencionado por el Ministerio de Fomento, en el marco del Plan Nacional de I+D (2004-2007) Programa Nacional de Transportes (T61/2006)

## **BIBLIOGRAFÍA**

DUTOIT, T., NIGAY, L. SCHNAIDER, M. (2006). “Multimodal human–computer interfaces”. *Signal Processing* 86(12), 3515-3517.

EDLUND, J., GUSTAFSON, J., HELDNER, M., HJIALMARSSON, A. (2008). “Towards human-like spoken dialogue systems”. *Speech Communication* 50(8-9), 630-645.

GAMM, S., HAEB-UMBACH, R., LANGMANN, D. (1997). “The development of a command-based speech interface for a telephone answering machine”. *Speech Communication* 23(1-2), 161-171.

HART, S.G., STAVELAND, L.E. (1988). "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research". In: Hancock, P.A., Meshkati, N. (eds.) Human Mental Workload. Amsterdam: North Holland Press, 239-250.

LAURIE, N.E., ANDRES, R.O., FISHER, D.L. (1998). "The role of instruction sets in operator satisfaction while using a voice activated dialing system". International Journal of Industrial Ergonomics 22(4-5), 307-312.

PAUZIE, A. SARPEDON, A. SAULNIER, G. (1995). "Ergonomic evaluation of a prototype guidance system in an urban area. Discussion about methodologies and data collection tools". Vehicle Navigation and Information Systems Conference, 1995. Proceedings. In conjunction with the Pacific Rim TransTech Conference. 6th International VNIS. 'A Ride into the Future', 390-396.

PAUZIE, A. MANZANO, J., DAPZOL, N. (2007). "Driver's behavior and workload assessment for new in-vehicle technologies design". Proceedings of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, 572-580.

PHEASANT, S. (1987). Ergonomics standards and guidelines for designers. Linford Wood: BSI.

SHNEIDERMAN, B. (2000). "The limits of speech recognition". Communications of the ACM 43(9), 63-65.