

## Cómo evitar dormirse al volante

La capacidad de medir el nivel de fatiga durante la conducción es un desafío científico y tecnológico importante y un objetivo fundamental para la mejora de la seguridad vial. El Instituto de Biomecánica (IBV) ha participado en una amplia investigación en la que se ha analizado mediante pruebas con usuarios la conducta de los mismos en un simulador de conducción situado en el laboratorio de automoción y diseño orientado por las personas del centro. En estos experimentos los conductores se encontraban en condiciones de somnolencia, se ha caracterizado su estado durante las sesiones de medida y se ha comprobado si es viable detectar el nivel de somnolencia a través de ciertas variables del vehículo (control lateral y de la velocidad), así como con señales fisiológicas que podrían dar lugar a nuevas tecnologías no invasivas para medir la fatiga.

### Avoiding driver drowsiness

Measuring the level of fatigue while driving is an important scientific and technological challenge, as well as a primary objective to improve road safety. IBV has participated in a wide research project, analyzing the behaviour of a collective of users in a driving simulator installed in the user-oriented lab. In these experiments, the participants have driven the simulator in drowsy conditions, their state during the sessions has been assessed, and we have tested the reliability of assessing their drowsiness level by means of driving performance variables (lateral and speed control), as well as by physiological signals that could be the basis for new non-invasive technologies to measure driver fatigue.

**Helios De Rosario Martínez<sup>1</sup>, José S. Solaz Sanahuja<sup>1</sup>, Andrés Soler Valero<sup>1</sup>, Enric Medina Ripoll<sup>1</sup>, Elisa Signes i Pérez<sup>1</sup>, Rubén Lahuerta Martínez<sup>1</sup>, Noelia Rodríguez Ibáñez<sup>2</sup>, Luis M. Bergasa Pascual<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

<sup>2</sup> FICOSA INTERNATIONAL S.A.

<sup>3</sup> UNIVERSIDAD DE ALCALÁ. DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

### INTRODUCCIÓN

La somnolencia durante la conducción es uno de los principales problemas de seguridad vial, siendo la principal causa de más del 20% de accidentes graves y mortales en carretera. Por ello los principales fabricantes de componentes de automoción, como FICOSA International, tienen entre sus prioridades el desarrollo de sistemas de detección de somnolencia y de algoritmos que permitan predecirla antes de que el riesgo de accidente sea inminente.

Las señales fisiológicas del conductor, así como la actividad visual, cardíaca y cerebral son especialmente útiles para obtener información detallada sobre la respuesta del cuerpo durante el ciclo del sueño. Esta información va más allá de los sistemas habituales, que simplemente detectan si la conducción se encuentra alterada por el sueño (por ejemplo, desviaciones del carril, maniobras bruscas del volante, cambios irregulares de velocidad, etc.), y son indicadores potencialmente muy útiles para anticiparse a la situación de riesgo inminente.

En particular, está comprobado que el "porcentaje de cierre de ojos" (PERCLOS), la variabilidad del ritmo cardíaco (HRV, del inglés *heart rate variability*) y los patrones de "ondas alfa y theta" en el electroencefalograma (EEG) son variables directamente relacionadas con la fatiga y la pérdida de atención. Sin embargo, la mayoría de estudios sobre estas variables están realizados en contextos clínicos, durante pruebas de somnografía con pacientes tumbados y escasa actividad. Realizar y analizar estas medidas en un contexto de conducción supone un importante reto tecnológico y científico por distintas razones: la necesidad de utilizar instrumentos de medición con invasividad mínima para no interferir en la actividad del conductor, así como la dificultad de someter al conductor a las condiciones de fatiga que permiten validar las técnicas de detección. Además, producir estas situaciones en un entorno de conducción real en carretera supondría un riesgo inaceptable, por lo que la experimentación tiene que limitarse a pruebas en un contexto controlado y sin riesgo de accidente.

Ante este reto, FICOSA, el IBV y la Universidad de Alcalá de Henares han colaborado en un proyecto de investigación sobre la somnolencia, utilizando como entorno de simulación los laboratorios de automoción y diseño orientado por las personas del Instituto de Biomecánica. En este proyecto se han realizado experimentos, contando con usuarios e instrumentación en un simulador de conducción, destinados a cumplir tres objetivos:

1. Obtener una base de datos de señales fisiológicas sincronizadas con parámetros de la conducción y movimientos del cuerpo de los conductores, tanto en condiciones de alerta como de somnolencia,

>

- > que puedan usarse para estudiar los cambios relacionados con la falta de atención y la fatiga.
- 2. Definir una variable de control basada en PERCLOS y EEG para clasificar las distintas fases del comienzo de la somnolencia durante la conducción.
- 3. Encontrar patrones en el resto de variables que permitan distinguir entre las fases definidas, como base de métodos avanzados de detección y prevención de la somnolencia.

## METODOLOGÍA EMPLEADA

En los experimentos participaron 20 conductores de entre 25 y 45 años. La mitad de ellos realizó el experimento después de haber dormido de forma normal la noche anterior y la otra mitad lo realizó tras más de 24 horas seguidas de vigilia. En cada uno de los grupos había 5 hombres y 5 mujeres, en cuya selección se tuvo en cuenta que no hubiesen consumido sustancias estimulantes y que no fuesen propensos al síndrome de mareo en simuladores.

En el laboratorio se mantuvo un nivel de iluminación reducida, la temperatura se encontraba entre 24°C y 26°C y se creó un ambiente acústico de carretera nocturna, sin tráfico, para inducir la fatiga. El simulador de conducción se instaló en una plataforma con un polisomnógrafo clínico que registraba las señales fisiológicas y un sistema de cámaras infrarrojas de la Universidad de Alcalá que medía al mismo tiempo el nivel de PERCLOS (Figura 1). Además, unos sensores de presión registraban de forma continua mapas de presión en el asiento y el respaldo del conductor. El laboratorio y la instrumentación estaban controlados por una red de siete ordenadores gestionados por dos investigadores. Todo el equipamiento informático y los investigadores estaban ocultos a la vista del usuario para evitar la distracción.

Antes de cada sesión de medición, los usuarios conducían durante un periodo de entre 15 y 30 minutos para familiarizarse con el simulador. La prueba consistía en 1 hora y 45 minutos de conducción monótona a lo largo de una autopista con poco tráfico, en condiciones nocturnas que indujesen a la fatiga, pero con un incentivo económico en caso de finalizar la prueba sin sufrir síntomas de sueño. Tras esta fase, se creaba un ambiente completamente oscuro y silencioso y se indicaba al usuario que permaneciese sentado y con los ojos cerrados, para tener una medida de base sobre la actividad fisiológica en un contexto de somnolencia total sin conducir.

Los valores de PERCLOS y EEG se utilizaron junto a las señales de conducción para definir una señal de control del estado del conductor, que se clasificaba para cada instante en una



Figura 1. Sujeto instrumentado.

de las siguientes fases: "Fase 0" (atención normal), "Fase I" (fatiga incipiente y pérdida moderada de atención) o "Fase II" (riesgo inminente de dormirse, con deterioro importante del control del vehículo). Las fases de somnolencia más profunda (falta total de atención o consciencia) que se utilizan en estudios del sueño no se consideraron en este experimento, ya que no resultan de interés para un sistema de detección precoz de la somnolencia. La tabla 1 muestra un resumen de los criterios utilizados para definir esta señal de control.

A partir de esta señal de control y el resto de datos recogidos se hicieron dos análisis. En el primero se estudió la fiabilidad de un detector de somnolencia basado únicamente en los resultados de las reacciones de la conducción, que es el método más usado por los actuales desarrollos para la industria de la automoción. El segundo análisis consistió en comprobar la validez de señales fisiológicas que pueden recogerse con métodos menos invasivos que el EEG (ritmo cardiaco, pulso, respiración, presiones y temperatura corporal), en comparación con la señal de control.

## RESULTADOS

El análisis de las medidas demostró que, a pesar del incentivo económico para mantenerse alerta, el contexto creado consiguió que el 80% de los usuarios pasase por la Fase I de fatiga, y un 20% llegase a la Fase II al menos una vez durante la medida (llegando a un 30% en el grupo al que se

Tabla 1

VARIABLE	FASE 0 (ATENCIÓN)	FASE I (FATIGA)	FASE II (SOMNOLENCIA)
CONDUCCIÓN	Atenta, con buen control	Reacciones lentas y fallos	Pérdida de atención, salidas del carril
EEG	Proporción de ondas theta menor de 1.9, con patrones regulares de ondas alfa	Proporción de ondas theta entre 1.9 y 8.2, con patrones regulares de ondas alfa	Proporción de ondas theta mayor de 8.2, sin patrones regulares de ondas alfa
PERCLOS	Menor de 24%, parpadeos rápidos	Entre 24% y 45%, parpadeos frecuentes	Mayor de 45%, parpadeos lentos y largos

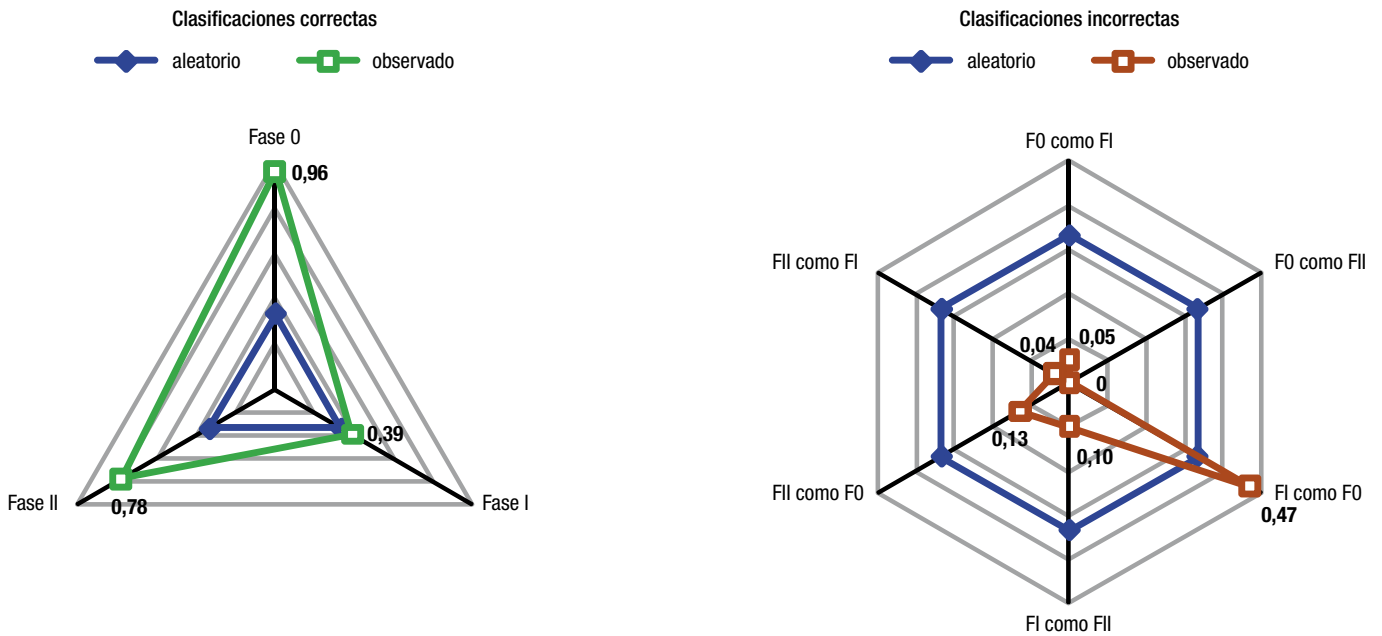


Figura 2. Diagrama de clasificaciones correctas (izquierda) e incorrectas (derecha) para las Fases 0, I y II, cuando sólo se consideran las señales de la conducción.

había privado de sueño). Estos periodos de fatiga o sueño se sucedían de forma alternada con duraciones en torno a un minuto y medio, que acumuladas llegaban a más del 10% del tiempo de medida.

La figura 2 muestra gráficamente el análisis de la eficacia potencial de un sistema basado sólo en las variables de conducción. Se puede observar que el sistema es eficaz a la hora de clasificar fases de alerta y somnolencia (entre el 78% y el 96% de aciertos), pero poco eficaz para detectar la fatiga incipiente, debido a que muchos síntomas de fatiga (el

47% de los casos) pasan inadvertidos hasta que el conductor entra en la "Fase II".

Afortunadamente, se encontró que otros indicadores fisiológicos, como la variabilidad del ritmo cardiaco (HRV) y la respiración, se pueden relacionar eficazmente con el estado general del usuario y la fase de cada instante. Concretamente, se apreció que la HRV disminuía significativamente en los usuarios del grupo privado de sueño, y que el movimiento abdominal debido a la respiración era más amplio durante las fases I y II. La medición no invasiva de estas variables, a través de dispositivos integrados en partes del propio vehí-

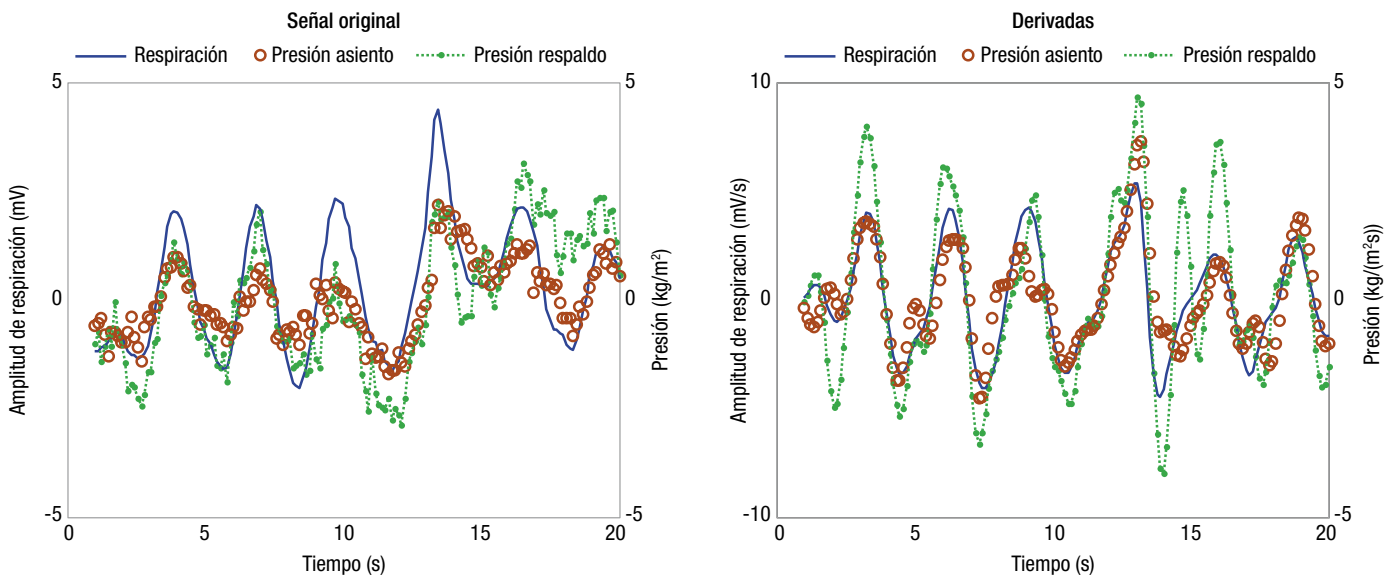


Figura 3. Ejemplo de la correlación entre la respiración y las presiones medias del asiento y el respaldo.

> culo (asiento, volante, cinturón de seguridad...), es mucho más factible que la del EEG que sirvió como señal de control, por lo que este resultado abre la puerta a mejoras viables y eficaces en los detectores de somnolencia.

Explorando vías no invasivas para la medición de estas variables fisiológicas, se encontró en particular que el comportamiento dinámico de la presión media en el asiento y el respaldo se correlaciona con la señal de la respiración, aunque esta correlación se manifiesta a tramos y depende de la persona (se observó en el 50% de los usuarios). La figura 3 muestra un ejemplo de las señales de la respiración y presión en asiento y respaldo, donde se puede apreciar claramente esta correlación.

## CONCLUSIONES

Los experimentos realizados en este proyecto permitieron estudiar cómo reaccionan los conductores en condiciones de somnolencia cuando se les induce la fatiga pero intentan mantenerse despiertos. Los periodos alternos y relativamente cortos de fatiga y sueño incipiente que se observaron fueron una buena aproximación a los típicos episodios de "microsueño" que se dan al volante y que son la causa de gran parte de los accidentes por fatiga en carretera.

La señal de control, formada por una combinación de la actividad cerebral, visual y comportamiento observado al volante, se comparó, por una parte, con las variables de conducción consideradas por muchos dispositivos de detección de somnolencia en desarrollo y, por otra parte, con variables fisiológicas que podrían ser más fáciles de medir.

La primera de las comparaciones reveló que los detectores basados sólo en señales de la conducción permiten reconocer correctamente los momentos en los que el conductor está alerta y también los episodios de somnolencia con un riesgo considerable de accidente. Por lo tanto, pueden ser adecuados para sistemas que "despierten" al conductor llegada esa situación, pero necesitan complementarse con otras señales para detectar eficazmente los periodos de fatiga incipiente y anticiparse al riesgo de accidente.

Una de las opciones, consideradas actualmente en muchos desarrollos de detectores de somnolencia, es la medida del PERCLOS, que se utilizó en la señal de control para el análisis, con una precisión mayor del 95%. Además, se comprobó que el ritmo cardíaco y la respiración se encuentran relacionados con los cambios en el estado del conductor y que existen buenas expectativas para medir estas variables fisiológicas con medios no invasivos.

Estos resultados proporcionan una base prometedora para el desarrollo de detectores de somnolencia avanzados, desarrollados a través de la combinación de señales. Naturalmente, hay otros retos importantes que abordar, como la fabricación de estos sensores, su integración en la estructura del vehículo y su validación fuera del laboratorio, objetivos todos ellos en los que las empresas y centros involucrados siguen trabajando en la actualidad. ●

---

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a FICOSA Internacional S.A. y a la Universidad de Alcalá el trabajo realizado en este proyecto.