

Artículo publicado en:  
*Revista Española de Motivación y Emoción*, vol. 3, 2002 (pp.101-107)

## Variación circadiana del nivel de alerta en conducción mediante simulador.

Mariano Chóliz Montañés  
Pilar Tejero Gimeno  
Consolación Gómez Iñiguez

Universidad de Valencia  
email: Mariano.Choliz@uv.es

### **Resumen**

En este trabajo registramos la actividad eléctrica cerebral (EEG) de diez personas sanas mientras conducían un simulador de conducción. La tarea consistía en conducir por el carril de la derecha a una velocidad constante de 120 km/h.. Dicha tarea tenía una duración aproximada de media hora y se realizó durante cuatro veces el mismo día.

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis de que el nivel de alerta fluctúa a lo largo del día. Así, se incrementa después de despertar, aumenta durante la mañana, pero desciende a principios de la tarde, para incrementarse al final de la misma.

**Palabras clave:** Alerta, EEG, conducción, ritmos biológicos.

### **Abstract**

In the present study, the electroencephalogram (EEG) of ten healthy individuals was recorded while they operated a driving simulator for 30 minutes at four times of day. Subjects were instructed to maintain a stable position in the right-hand lane, and to drive at a constant speed of 120 km/hour.

After an initial rise in alertness shortly after awakening, alertness remains relatively stable during morning. A drop occurs early in the afternoon, and rise again throughout the afternoon.

**Key words:** Alertness, EEG, drive, biological rhythms

---

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido posible gracias a la ayuda otorgada por la Universidad de Valencia mediante el proyecto de investigación referencia. UV98-2722

## INTRODUCCIÓN

La capacidad para mantener el nivel de alerta es uno de los factores psicológicos de mayor relevancia en muchas tareas en las que cualquier persona puede verse implicada cotidianamente, especialmente aquéllas en las que se requiere que se atienda de forma sostenida durante un tiempo más o menos prolongado. Se trata de un recurso que se encuentra a la base de muchos otros procesos psicológicos y que, si no determina, sí al menos modula el rendimiento en dichas tareas.

No obstante, la capacidad para mantener el nivel de alerta no se mantiene constante en un mismo sujeto a lo largo del tiempo. Trabajos experimentales realizados fundamentalmente a partir de la década de los ochenta ponen de manifiesto que muchas funciones biológicas y psicológicas, presentan oscilaciones rítmicas a lo largo del día (Aschoff y Wever, 1981; Lavie, 1982). De la misma forma, durante la realización de una tarea en un periodo más o menos prolongado de tiempo, el nivel de alerta que es posible mantener se ve sometido a modificaciones que, en algún momento pueden llegar a ser críticas, especialmente si se trata de tareas en las que los errores son de crucial importancia, como en situaciones de conducción (Aesbach, Matthews, Postolache, Jackson, Giesen y Wehr, 1997; Lenné, Triggs y Redman, 1997). En este sentido, es ciertamente importante analizar cómo fluctúa el nivel de alerta en tareas que se prolongan a lo largo del tiempo durante periodos más o menos largos, puesto que es previsible que se produzcan decrementos en la ejecución debidos al descenso en la capacidad para atender de una manera permanente a las exigencias de dicha tarea.

Uno de los principales retos en la investigación experimental actual es encontrar la relación entre variables psicofisiológicas objetivas y nivel de alerta, de forma que éste pueda predecirse en función de aquéllas. Algunos de los trabajos más destacados sobre este particular corresponden a Akerstedt y Folkard (1996), Borbély (1982), Czeisler, Dijk y Duffy (1994) y Webb (1994).

En todos los trabajos experimentales que acabamos de reseñar se considera que la capacidad para mantener el nivel de alerta, o la propia vigilia, está relacionada con factores psicobiológicos que en algunos casos pueden presentar oscilaciones durante la jornada diaria, es decir, que siguen un patrón marcadamente circadiano.

Nuestro trabajo pretende determinar si, efectivamente, aparecen modificaciones a lo largo del día en la capacidad para mantener el nivel de alerta durante la ejecución de una tarea que requiere el mantenimiento de atención sostenida, como es el caso de la conducción prolongada en un simulador de conducción y si es posible definir alguna función que describa dicho patrón de respuesta.

## **ESTUDIO EXPERIMENTAL.**

Para analizar si aparecen modificaciones en el nivel de alerta elegimos una tarea, como es la conducción en un simulador de conducción, en la que se requiere mantener la atención durante un periodo de tiempo prolongado, pero que en sí misma tampoco exige una gran cantidad de esfuerzo. Y ello para evitar en la medida de lo posible que el nivel de alerta se vea influenciado por la propia demanda de la tarea. Comparamos los resultados obtenidos en diferentes periodos del día, para ver si el momento en el que se lleva a cabo influye en la ejecución.

### **1. Procedimiento experimental.**

Los participantes (10 sujetos entre 25 y 40 años) debían conducir un simulador durante un trayecto de 90 kms que representaban tramos reales de la autopista entre Valencia y Oliva (en trayectos de ida y vuelta), a una velocidad constante de 120 kms por hora y manteniéndose en el carril de la derecha. La tarea no tenía dificultad, más bien era monótona y sencilla, puesto que no aparecían otros vehículos, ni condiciones externas que exigieran maniobras complicadas. Se trataba de una tarea especialmente indicada para la evaluación del nivel de alerta en situaciones en las que no se requiere un elevado esfuerzo mental para llevarlas a cabo. Cada uno de los participantes debía conducir el mismo recorrido cuatro veces en otros tantos momentos del mismo día (a las 8, 12, 16 y 20 horas), con la finalidad de registrar si aparecían diferencias significativas en la capacidad para mantener el nivel de alerta en función de cuándo se realizara la tarea. Así, la variable independiente es el momento del día en el que se realizó la conducción. Se trataba de un diseño experimental de una variable independiente con cuatro niveles.



*Figura 1. Detalle de la presentación del simulador*

Obtuvimos dos medidas del nivel de alerta, una objetiva a través de registro de la actividad EEG, y otra subjetiva mediante autoinforme. Las principales variables dependientes fueron:

- a. **Registros fisiológicos.** El nivel de alerta se registró a través de la actividad eléctrica del cerebro (EEG), con derivación monopolar C3-A2, que es una de las recomendadas en los casos en la investigación experimental sobre sueño y adormecimiento (Rechtschaffen y Kales, 1968). Como variable control se tomaba la temperatura en cada una de las sesiones, ya que la variación circadiana de la temperatura parece funcionar como un marcador de muchas otras funciones psicobiológicas.
- b. **Registro subjetivo del nivel de alerta.** Elegimos como medida subjetiva del nivel de alerta la Escala de Somnolencia Karolinska (KSS) (Akerstedt y Gilberg, 1990), ya que se trata de una de las más utilizadas en investigaciones similares. Se trata de una escala tipo Lickert, en la que se puntúa entre 1 y 9, en función del grado de somnolencia que tenga en el momento en que se le pregunta verbalmente:

“¿Cómo se encuentra de despejado en este momento?”:

1. Totalmente despejado y alerta.
3. Despejado.
5. Neutro. Ni despejado ni somnoliento.
7. Somnoliento, pero no me cuesta esfuerzo despejarme.
9. Somnoliento, Me cuesta esfuerzo mantenerme alerta.

## 2. Procedimiento de análisis.

Para evaluar el nivel de alerta mediante el indicador de la actividad EEG seguimos la siguiente secuencia de análisis:

- a. **Registro de la actividad EEG.** El registro de los datos fue realizado con un polígrafo marca *Biopac*. Se colocaron electrodos de superficie, tipo cucharilla, de impregnación cloruro de plata, con gel electrolítico para favorecer el registro. La disposición monopolar fue C3-A2, con electrodo masa colocado en la frente. La tasa de registro fue de 125 datos por segundo y los datos se almacenaban automáticamente en ordenador.
- b. **Análisis de la actividad EEG.** Sometimos los registros a diferentes fases de depuración y filtrado para obtener una respuesta libre de artefactos y posteriormente realizamos análisis espectral, basado en la transformada rápida de *Fourier*, con la finalidad de obtener la densidad de las bandas de frecuencia más características del EEG según nuestro objetivo de estudio y la obtención posterior de un índice de alerta apropiado. Utilizamos como indicador de alerta el cociente entre la densidad espectral de la actividad cerebral de ritmo *beta* (13-20 Hz), respecto a las de tipo *alpha* (8-12 Hz) y *theta* (4-8 Hz). A tal efecto programamos tanto con un compilador de *Basic*, como con el paquete estadístico *SPSS* los programas necesarios a fin de preparar los datos en formato ASCII para su análisis estadístico posterior con *SPSS*. Obtuvimos una puntuación de nivel de alerta cada cuatro segundos en todas las sesiones de las que constó la investigación.

### 3. Resultados.

Los resultados más destacables de esta investigación han sido los siguientes:

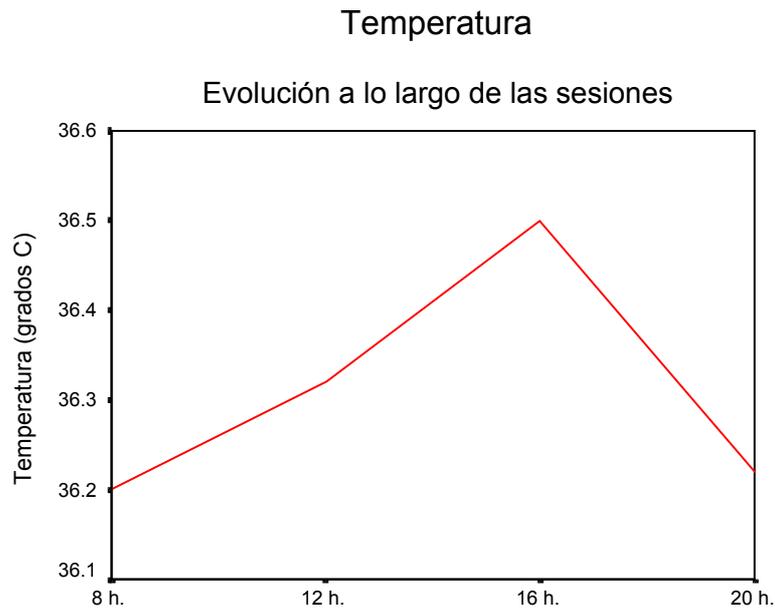
#### 3.1. *Temperatura.*

La temperatura corporal manifiesta una ciclicidad claramente circadiana (Campbell y Zulley, 1985). Uno de los aspectos más destacables de esta medida es que muchas de las funciones psicobiológicas se acoplan a la temperatura, de forma que podemos entenderla como un marcador de las mismas.

La evolución de la temperatura corporal en todos los sujetos a lo largo de la jornada en la que se realizó el experimento fue la siguiente:

**Estadísticos descriptivos**

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
TEMP1	10	35.10	36.80	36.2000	.5518
TEMP2	10	35.90	37.20	36.3200	.4211
TEMP3	10	35.60	37.10	36.5000	.4216
TEMP4	10	35.30	36.90	36.2200	.5673
N válido (según lista)	10				



*Figura 2. Variación de la temperatura a lo largo del día*

Estos resultados son coherentes con los que aparecen en la mayor parte de las investigaciones sobre el tema (Wever, 1979; Campbell y Zulley, 1985), en las que se ha puesto de manifiesto que el mínimo de temperatura aparece de madrugada, en pleno sueño profundo. Poco a poco asciende hasta mitad de tarde, momento a partir del cual comienza a descender hasta el mínimo, completando de esta forma un ciclo completo a lo largo de una jornada y así sucesivamente. Los resultados obtenidos en nuestro trabajo, correspondientes evidentemente al periodo de vigilia, corroboran esta afirmación.

### ***3.2. Nivel de alerta subjetivo (KSS).***

El indicador subjetivo del nivel de alerta lo evaluamos mediante la *Escala de Somnolencia Karolinska* (Akerstedt y Gilberg, 1990), que es una de las formas más utilizadas para evaluar el grado de somnolencia o de vigilia de una forma subjetiva. Preguntamos a los participantes en dos momentos en cada una de las sesiones (al comienzo y al finalizar la prueba).

Los resultados obtenidos aparecen en la siguiente gráfica:

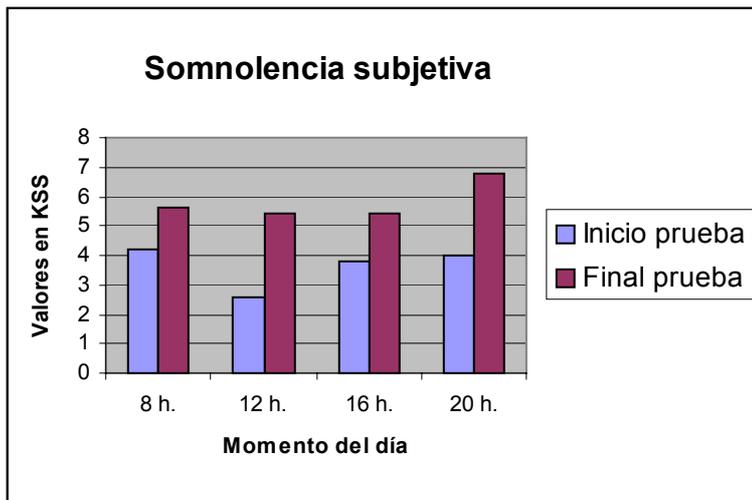


Figura 3. Nivel subjetivo de somnolencia (dos periodos por sesión)

En un primer análisis visual de los descriptivos obtenidos parece observarse que en todas las sesiones se produce un descenso importante del nivel subjetivo de alerta si comparamos los resultados del principio y final de la prueba. Al mismo tiempo, parece que la segunda sesión es la que comienza con un nivel subjetivo de alerta mayor que el resto de sesiones, si bien también al finalizar la misma también parece producirse un descenso acusado de ella. Para corroborar si efectivamente se trata de diferencias estadísticamente significativas realizamos contraste de hipótesis basado en pruebas t. Utilizamos este procedimiento ya que, al tratarse de un contraste univariado, los resultados deberán ser los mismos que los que se obtendrían con MANOVA utilizando F de Fisher como estadístico de contraste. Dado que la presentación de los resultados con pruebas t es más clara, nos decidimos por este procedimiento.

Los análisis realizados ratifican la impresión visual. Así, si atendemos a las comparaciones 13, 14, 15 y 16, que son las que específicamente comparan los resultados del principio y final de cada una de las sesiones, observamos diferencias estadísticamente significativas, al igual que cuando se comparan los valores obtenidos al principio de la segunda sesión con las demás sesiones (comparaciones 1, 4 y 5).

**Prueba de muestras relacionadas**

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error tít. de la media	Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	KSS11 - KSS21	1.6000	1.8379	.5812	.2853	2.9147	2.753	9	.022
Par 2	KSS11 - KSS31	.4000	2.0656	.6532	-1.0776	1.8776	.612	9	.555
Par 3	KSS11 - KSS41	.2000	2.7406	.8667	-1.7605	2.1605	.231	9	.823
Par 4	KSS21 - KSS31	-1.2000	1.3984	.4422	-2.2004	-.1996	-2.714	9	.024
Par 5	KSS21 - KSS41	-1.4000	1.3499	.4269	-2.3657	-.4343	-3.280	9	.010
Par 6	KSS31 - KSS41	-.2000	1.7512	.5538	-1.4527	1.0527	-.361	9	.726
Par 7	KSS12 - KSS22	.2000	2.3944	.7572	-1.5129	1.9129	.264	9	.798
Par 8	KSS12 - KSS32	.2000	2.2010	.6960	-1.3745	1.7745	.287	9	.780
Par 9	KSS12 - KSS42	-1.2000	2.8597	.9043	-3.2457	.8457	-1.327	9	.217
Par 10	KSS22 - KSS32	.0000	2.3094	.7303	-1.6520	1.6520	.000	9	1.000
Par 11	KSS22 - KSS42	-1.4000	2.3190	.7333	-3.0589	.2589	-1.909	9	.089
Par 12	KSS32 - KSS42	-1.4000	1.6465	.5207	-2.5779	-.2221	-2.689	9	.025
Par 13	KSS11 - KSS12	-1.4000	1.8974	.6000	-2.7573	-4.27E-02	-2.333	9	.045
Par 14	KSS21 - KSS22	-2.8000	2.1499	.6799	-4.3380	-1.2620	-4.118	9	.003
Par 15	KSS31 - KSS32	-1.6000	1.5776	.4989	-2.7286	-.4714	-3.207	9	.011
Par 16	KSS41 - KSS42	-2.8000	1.3984	.4422	-3.8004	-1.7996	-6.332	9	.000

### **3.3. Nivel de alerta**

Utilizamos dos indicadores objetivos del nivel de alerta, con los que obtuvimos prácticamente los mismos resultados, lo que da cuenta de la bondad de nuestro nivel de análisis. En este trabajo presentamos los resultados del indicador que hemos denominado “alerta”, obtenido al realizar el cociente entre *beta* (de 13-20 Hz) y *alpha* (8-12) + *theta* (4-8 Hz). Realizamos una transformación logarítmica del mismo para evitar en la medida de lo posible los efectos de puntuaciones extremas, dado que la variabilidad en la medida puede ser considerable entre diferentes sujetos.

Realizamos análisis espectrales cada cuatro segundos, de forma que obtuvimos aproximadamente 320 puntuaciones para cada una de las cuatro sesiones de las que constaba el experimento, además de otras 120 correspondientes a la línea base realizada al inicio del mismo. Agrupamos los

resultados en cuatro medidas por sesión y dos para la línea base, con lo que obtuvimos puntuaciones en el nivel de alerta que corresponden aproximadamente a periodos de cinco minutos en el caso de las sesiones y algo menos en el de la línea base

Los resultados se reflejan en la siguiente gráfica.

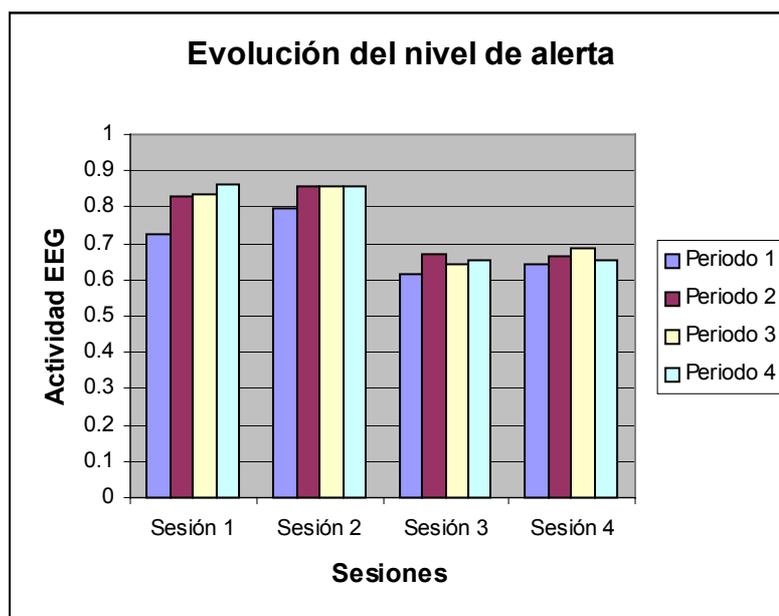


Figura 4. Evolución del nivel de alerta a lo largo de las sesiones

En un primer análisis visual de los descriptivos obtenidos parece observarse un descenso importante del nivel de alerta en las dos últimas sesiones (a las cuatro y ocho de la tarde) respecto a las dos primeras (8 de la mañana y doce del mediodía) y de la línea base. Para corroborar si efectivamente se trata de diferencias estadísticamente significativas realizamos de nuevo contraste de hipótesis basado en pruebas t, al igual que en la evaluación del nivel subjetivo de alerta.

Presentamos a continuación los resultados obtenidos comparando entre sí todos y cada uno de los indicadores obtenidos en todos los periodos de las sesiones en que se realizó la prueba.

Prueba de muestras relacionadas

Par	Media	Desv. Típica	Error típico de la media	Intervalo confianza Inferior	Intervalo confianza Superior	t	g.l.	Sig
SE11 vs. SE21	-7.1798E-02	.3632	.1149	-.3316	.1880	-.625	9	.547
SE11 vs. SE31	.1124	.2525	7.986E-02	-6.8310E-02	.2930	1.407	9	.193
SE11 vs. SE41	8.494E-02	.2706	8.557E-02	-.1086	.2785	.993	9	.347
SE21 vs. SE31	.1841	.2455	7.762E-02	8.552E-03	.3597	2.372	9	<b>.042</b>
SE21 vs. SE41	.1567	.2628	8.309E-02	-3.1233E-02	.3447	1.886	9	.092
SE31 vs. SE41	-2.7410E-02	.1559	4.930E-02	-.1389	8.412E-02	-.556	9	.592
SE12 vs. SE22	-3.1107E-02	.2362	7.470E-02	-.2001	.1379	-.416	9	.687
SE12 vs. SE32	.1594	.2163	6.841E-02	4.594E-03	.3141	2.329	9	<b>.045</b>
SE12 vs. SE42	.1626	.1591	5.031E-02	4.883E-02	.2764	3.233	9	<b>.010</b>
SE22 vs. SE32	.1905	.2114	6.686E-02	3.920E-02	.3417	2.848	9	<b>.019</b>
SE22 vs. SE42	.1937	.1882	5.952E-02	5.909E-02	.3284	3.255	9	<b>.010</b>
SE32 vs. SE42	3.278E-03	.1365	4.318E-02	-9.4397E-02	.1010	.076	9	.941
SE13 vs. SE23	2.3131E-02	.1690	5.344E-02	-.1440	9.776E-02	-.433	9	.675
SE13 vs. SE33	.1941	.1538	4.864E-02	8.404E-02	.3041	3.990	9	<b>.003</b>
SE13 vs. SE43	.1489	.1105	3.493E-02	6.987E-02	.2279	4.262	9	<b>.002</b>
SE23 vs. SE33	.2172	.2080	6.576E-02	6.843E-02	.3660	3.303	9	<b>.009</b>
SE23 vs. SE43	.1720	.1845	5.833E-02	4.006E-02	.3040	2.949	9	<b>.016</b>
SE33 vs. SE43	-4.5172E-02	.1078	3.408E-02	-.1223	3.192E-02	-1.326	9	.218
SE14 vs. SE24	6.340E-03	.1278	4.041E-02	-8.5077E-02	9.776E-02	.157	9	.879
SE14 vs. SE34	.2103	.1392	4.401E-02	.1107	.3099	4.779	9	<b>.001</b>
SE14 vs. SE44	.2124	.1790	5.660E-02	8.432E-02	.3404	3.752	9	<b>.005</b>
SE24 vs. SE34	.2040	.2296	7.259E-02	3.974E-02	.3682	2.810	9	<b>.020</b>
SE24 vs. SE44	.2060	.1539	4.867E-02	9.593E-02	.3161	4.233	9	<b>.002</b>
SE34 vs. SE44	2.064E-03	.1962	6.204E-02	-.1383	.1424	.033	9	.974
LB1 vs. SE11	5.345E-02	.2508	7.932E-02	-.1260	.2329	.674	9	.517
LB1 vs. SE12	-4.7856E-02	.2088	6.601E-02	-.1972	.1015	-.725	9	.487
LB1 vs. SE13	-5.5749E-02	.2347	7.423E-02	-.2237	.1122	-.751	9	.472
LB1 vs. SE14	-8.4293E-02	.2179	6.889E-02	-.2401	7.155E-02	-1.224	9	.252
LB1 vs. SE21	-1.8350E-02	.3452	.1092	-.2653	.2286	-.168	9	.870
LB1 vs. SE22	-7.8963E-02	.2442	7.721E-02	-.2536	9.570E-02	-1.023	9	.333
LB1 vs. SE23	-7.8881E-02	.2445	7.732E-02	-.2538	9.603E-02	-1.020	9	.334
LB1 vs. SE24	-7.7954E-02	.2781	8.795E-02	-.2769	.1210	-.886	9	.398
LB1 vs. SE31	.1658	.2394	7.571E-02	-5.4751E-03	.3371	2.190	9	.056
LB1 vs. SE32	.1115	.2953	9.338E-02	-9.9749E-02	.3227	1.194	9	.263
LB1 vs. SE33	.1383	.2846	9.001E-02	-6.5300E-02	.3419	1.537	9	.159
LB1 vs. SE34	.1260	.2713	8.581E-02	-6.8106E-02	.3201	1.468	9	.176
LB1 vs. SE41	.1384	.2033	6.428E-02	-7.0324E-03	.2838	2.153	9	.060
LB1 vs. SE42	.1148	.2902	9.176E-02	-9.2789E-02	.3223	1.251	9	.243
LB1 vs. SE43	9.314E-02	.2844	8.994E-02	-.1103	.2966	1.036	9	.327
LB1 vs. SE44	.1281	.3101	9.806E-02	-9.3759E-02	.3499	1.306	9	.224
LB2 vs. SE11	6.349E-02	.1855	6.185E-02	-7.9133E-02	.2061	1.027	8	.335
LB2 vs. SE12	3.302E-02	.2207	7.356E-02	-.1366	.2027	.449	8	.665
LB2 vs. SE13	3.392E-02	.2066	6.885E-02	-.1249	.1927	.493	8	.636
LB2 vs. SE14	-1.5911E-03	.1792	5.974E-02	-.1393	.1362	-.027	8	.979
LB2 vs. SE21	7.273E-02	.3239	.1080	-.1762	.3217	.674	8	.520
LB2 vs. SE22	1.236E-02	.1868	6.227E-02	-.1312	.1559	.198	8	.848
LB2 vs. SE23	1.185E-02	.2126	7.085E-02	-.1515	.1752	.167	8	.871
LB2 vs. SE24	7.967E-03	.2729	9.095E-02	-.2018	.2177	.088	8	.932

LB2 vs. SE31	.2461	.1859	6.195E-02	.1033	.3890	3.973	8	<b>.004</b>
LB2 vs. SE32	.2006	.2439	8.130E-02	1.314E-02	.3881	2.468	8	<b>.039</b>
LB2 vs. SE33	.2274	.2244	7.479E-02	5.488E-02	.3998	3.040	8	<b>.016</b>
LB2 vs. SE34	.2139	.1946	6.487E-02	6.429E-02	.3635	3.297	8	<b>.011</b>
LB2 vs. SE41	.2276	.1730	5.766E-02	9.459E-02	.3605	3.946	8	<b>.004</b>
LB2 vs. SE42	.2150	.2374	7.914E-02	3.250E-02	.3975	2.717	8	<b>.026</b>
LB2 vs. SE43	.1876	.2443	8.144E-02	-1.5306E-04	.3754	2.304	8	<b>.050</b>
LB2 vs. SE44	.2213	.2789	9.298E-02	6.934E-03	.4358	2.381	8	<b>.045</b>
SE11 vs. SE12	-.1013	.2519	7.965E-02	-.2815	7.888E-02	-1.272	9	.235
SE11 vs. SE13	-.1092	.2639	8.347E-02	-.2980	7.962E-02	-1.308	9	.223
SE11 vs. SE14	-.1377	.2441	7.720E-02	-.3124	3.690E-02	-1.784	9	.108
SE12 vs. SE13	-7.8935E-03	.1157	3.660E-02	-9.0696E-02	7.491E-02	-.216	9	.834
SE12 vs. SE14	-3.6438E-02	.1599	5.057E-02	-.1508	7.797E-02	-.720	9	.490
SE13 vs. SE14	-2.8544E-02	8.654E-02	2.737E-02	-9.0451E-02	3.336E-02	-1.043	9	.324
SE21 vs. SE22	-6.0613E-02	.1510	4.775E-02	-.1686	4.741E-02	-1.269	9	.236
SE21 vs. SE23	-6.0530E-02	.1541	4.872E-02	-.1707	4.967E-02	-1.243	9	.245
SE21 vs. SE24	-5.9603E-02	.2186	6.912E-02	-.2160	9.676E-02	-.862	9	.411
SE22 vs. SE23	8.243E-05	.1114	3.524E-02	-7.9638E-02	7.980E-02	.002	9	.998
SE22 vs. SE24	1.009E-03	.2055	6.499E-02	-.1460	.1480	.016	9	.988
SE23 vs. SE24	9.271E-04	.1417	4.482E-02	-.1005	.1023	.021	9	.984
SE31 vs. SE32	-5.4301E-02	8.198E-02	2.592E-02	-.1129	4.344E-03	-2.095	9	.066
SE31 vs. SE33	-2.7486E-02	.1094	3.458E-02	-.1057	5.075E-02	-.795	9	.447
SE31 vs. SE34	-3.9794E-02	.1173	3.711E-02	-.1237	4.414E-02	-1.072	9	.311
SE32 vs. SE33	2.682E-02	8.339E-02	2.637E-02	-3.2836E-02	8.647E-02	1.017	9	.336
SE32 vs. SE34	1.451E-02	.1262	3.991E-02	-7.5783E-02	.1048	.363	9	.725
SE33 vs. SE34	-1.2308E-02	6.891E-02	2.179E-02	-6.1604E-02	3.699E-02	-.565	9	.586
SE41 vs. SE42	-2.3613E-02	.1088	3.442E-02	-.1015	5.424E-02	-.686	9	.510
SE41 vs. SE43	-4.5248E-02	.1384	4.378E-02	-.1443	5.378E-02	-1.034	9	.328
SE41 vs. SE44	-1.0320E-02	.1462	4.622E-02	-.1149	9.424E-02	-.223	9	.828
SE42 vs. SE43	-2.1635E-02	.1102	3.484E-02	-.1004	5.717E-02	-.621	9	.550
SE42 vs. SE44	1.329E-02	.1074	3.396E-02	-6.3532E-02	9.012E-02	.391	9	.705
SE43 vs. SE44	3.493E-02	9.535E-02	3.015E-02	-3.3284E-02	.1031	1.158	9	.277

De los resultados obtenidos podemos destacar los siguientes:

En primer lugar, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las sesiones de la mañana respecto a las de la tarde, en los periodos segundo, tercero y cuarto de cada una de ellas, además del primer periodo en la comparación entre la segunda sesión y la tercera (marcados en negrita para facilitar su identificación). Es decir, se corrobora estadísticamente la impresión que se obtiene al observar la Figura 4, en la que aparece un descenso notorio en el nivel de alerta en las dos últimas sesiones.

Este resultado tiene una relevancia notoria, en tanto en cuanto pone de manifiesto el hecho de que existen variaciones circadianas del nivel de alerta. Es decir, que con independencia de la tarea que se esté realizando, el nivel de alerta que es posible mantener en la ejecución de la misma varía en función del momento del día, siendo el periodo vespertino considerablemente inferior

al matutino, al menos en lo que se refiere a la realización de una tarea monótona, como la de la conducción en un simulador gráfico.

Este resultado es coherente con el hecho de que no haya diferencias significativas entre las dos primeras sesiones (en ninguno de los periodos registrados) y la línea de base, mientras que sí que aparecen diferencias entre línea de base y todos los periodos de registro de las sesiones tercera y cuarta. Estos resultados corroboran el hecho de que, efectivamente, el nivel de alerta es inferior durante la tarde, con independencia de la tarea que esté realizando.

En este punto hemos de retomar los resultados obtenidos con el indicador subjetivo del nivel de alerta (KSS) y destacar principalmente dos. En primer lugar, se corrobora el hecho de que la segunda sesión (realizada a las doce del mediodía) es la que muestra un nivel de alerta significativamente mayor que el resto, incluso que el de la primera sesión, realizada a las ocho de la mañana. No obstante, se había obtenido un resultado que no se constata en el análisis del indicador fisiológico del nivel de alerta, como es el hecho de que en todas las sesiones aparece una disminución de este indicador si se comparan los resultados antes y después de realizar la tarea (debemos recordar que se obtenían dos puntuaciones del nivel de alerta subjetivo, una antes de realizar la prueba y otra después de la misma). Este resultado dispar puede entenderse de dos formas, igualmente plausibles e incluso complementarias. Por un lado, por un sesgo en la contestación, ya que los sujetos pueden entender que lo natural es estar menos alerta después de realizar una tarea monótona de alrededor de veinte minutos, y así lo reflejen en su respuesta. O bien, por otro lado, entendiendo que lo que realmente mide esta escala, más que nivel de alerta, es esfuerzo. De esta manera, al principio de la misma no habría diferencias entre las distintas sesiones, excepción hecha de la segunda de ellas que, como hemos demostrado anteriormente, es en la que presenta un nivel de alerta a todas luces más elevado. Después de la realización de una tarea prolongada, sin embargo, el esfuerzo mental aumenta con independencia del nivel de alerta que manifieste. La propia estructura de la escala, que pregunta por el grado de somnolencia, y en la que los valores más elevados corresponden a niveles de alerta menores, favorece el que se entienda de esta manera.

#### **4. Conclusiones**

Los resultados obtenidos en esta investigación son coherentes con algunos de los principales trabajos que, aunque todavía escasos, han analizado experimentalmente las principales variables directamente relacionadas con el nivel de alerta. Así Webb (1994) encuentra que la latencia en conciliar el sueño, cuando ésta se mide a lo largo del día, se incrementa a lo largo de la mañana, desciende en las primeras horas de la tarde, hay un ligero incremento al final de la misma y desciende bruscamente al principio de la noche. Otros trabajos analizaron la evolución de la vigilancia subjetiva mediante autorregistros a lo largo del día, encontrando que aparece un pico a última hora de la mañana o primera de la tarde, que precede aproximadamente tres horas al máximo de temperatura corporal (Benoit, 1995), lo cual coincide con los resultados que nosotros hemos obtenido con indicadores objetivos del nivel de alerta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aesbach, D., Matthews, J.R., Postolache, T.T., Jackson, M.A., Giesen, H.A. y Wehr, T.A. (1997). Dynamics of the human EEG during prolonged wakefulness: evidence for frequency-specific circadian and homeostatic influences. *Neuroscience Letters*, 239, 121-124.

Akerstedt, T. y Folkard, S. (1996). Predicting sleep latency from the three-process model of alertness regulation. *Psychophysiology*, 13, 385-389.

Akerstedt, T. y Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52, 29-37.

Aschoff, J. y Wever, R.A. (1981). The circadian system of man. En J. Aschoff (Ed.). *Handbook of Behavioral Neurobiology*, vol. 4: *Biological rhythms* (pp. 311-331). New York: Plenum Press.

Benoit, O. (1995). Régulation circadienne des états de veille et de sommeil. En O. Benoit y J. Foret (Eds.): *Le sommeil humain: Bases expérimentales physiologiques et physiopathologiques* (pp 105-124). Paris: Masson.

Borbély, A.A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, 1, 195-204.

Campbell, S.S. y Zulley, J. (1985). Ultradian components of human sleep-wake patterns during disentrainment. *Experimental Brain Research*, 12, 234-255.

Czeisler, Ch., Dijk, D. y Duffy, J.F. (1994) Entrained phase of the circadian pacemaker serves to stabilize alertness and performance throughout the habitual waking day. En R.D. Ogilvie y J.R. Harsch (Eds.): *Sleep onset*. (pp. 89-110). Washington: American Psychological Association.

Lavie, P. (1982). Ultradian rhythms in human sleep and wakefulness. En W.B. Webb (Ed.): *Biological rhythms, sleep and performance* (pp. 239-271). New York. John Wiley and Sons.

Lenné, M.G., Triggs, T.J. y Redman, J.R. (1997). Time of day variations in driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 29, 431-437.

Rechtschaffen, A. & Kales, A. (1968). *A manual of standardized terminology, techniques, and scoring system for sleep stages of human subjects*. Los Angeles: Brain Research Institute.

Webb, W.B. (1994). Prediction of sleep onset. En R.D. Ogilvie y J.R. Hirsch (Eds.): *Sleep onset*. (pp. 53-72). Washington: American Psychological Association.

Wever, R. (1979). *The circadian system of man*. Berlin: Springer Verlag.