

## Análisis experimental de la capacidad de vigilancia: Efecto de la privación parcial de sueño y dificultad de la tarea

Consolación Gómez Iñiguez\*, Mariano Chóliz Montañés y Enrique Carbonell Vayá

Universidad de Valencia

**Resumen:** Uno de los factores más relevantes en la capacidad para mantener un apropiado nivel de alerta es la duración del período de sueño. Se han realizado numerosos trabajos, ya clásicos, sobre el efecto de la privación total o selectiva de alguna de las fases del sueño en relación con diferentes funciones fisiológicas y psicológicas. En el trabajo que presentamos, analizamos experimentalmente el efecto de la privación parcial de sueño sobre el nivel de alerta subjetivo y el rendimiento obtenido en dos tareas de vigilancia o atención sostenida, que difieren en el nivel de dificultad, así como el nivel de carga de trabajo mental (*mental workload*) experimentado durante su realización. El rendimiento en dichas tareas se evaluará en términos de precisión y velocidad, con los índices nivel de vigilancia y función decremento de vigilancia. Los resultados relativos al rendimiento no son consistentes con las hipótesis formuladas.

**Palabras clave:** alerta, vigilancia, privación parcial de sueño, dificultad de la tarea y carga mental.

**Title:** Experimental analysis of vigilance: effects of partial privation of sleep and task difficulty.

**Abstract:** One of the more important factors that can affect the capacity to maintain an appropriate alert level is the length of the sleep period. A lot of studies has been carried out, most of them classic studies, about the effect of total deprivation or selective deprivation of sleep phases in different physiological and psychological functions. The present study deal with the effect of partial deprivation of sleep on the subjective alert level and mental workload level, and the performance in two vigilance or sustained attention tasks. Both of tasks have different difficulty degree. The performance in these tasks will be evaluated by measuring in hits, false alarms and reaction time (vigilance level index and vigilance decrement function index, respectively). The results suggest that performance does not consistent in the sense of our hypothesis.

**Key words:** alertness, vigilance, partial privation of sleep, task difficulty and mental workload

### Introducción

A principios del s.XX, el neurólogo Head introdujo el término de vigilancia para describir el funcionamiento del sistema nervioso central, que definió como "un estado de alto grado de eficiencia del sistema nervioso central" (Head, 1923; p.361). Dicho concepto de vigilancia se relacionó con el concepto de activación, el cual hace referencia a la eficiencia del sistema nervioso para procesar la información del entorno que, a su vez, permite al organismo permanecer en estado de alerta o vigilia. Como consecuencia, ambos conceptos fueron considerados como sinónimos. Posteriormente, a partir de una investigación sistemática realizada por Mackworth (1948) con tareas que simulaban el fun-

cionamiento de un radar (p.ej., *Clock Test*) en contexto de laboratorio, éste definió el concepto de vigilancia enfatizando el proceso atencional; en concreto, la atención sostenida o mantenimiento de la atención, aunque sin obviar el proceso de activación -originario en el concepto de vigilancia de Head-. Para este autor, la vigilancia fue considerada como un estado de disposición del sistema nervioso, que se caracteriza por la habilidad del observador para mantener la atención hacia una fuente de estimulación durante un periodo prolongado e ininterrumpido de tiempo (ver Davies y Parasuraman, 1982). Consecuentemente, los términos de vigilancia y atención sostenida fueron considerados como sinónimos.

Por tanto, un nivel de alerta o activación óptimo es uno de los factores necesarios para la ejecución de cualquier actividad cognitiva, como es el mantenimiento de la atención o atención sostenida durante la ejecución de una tarea de vigilancia.

\* **Dirección para correspondencia:** Consolación Gómez Iñiguez. Deptº de Psicología Básica. Facultad de Psicología. Universidad de Valencia. Avda. Blasco Ibáñez, 21. 46010 Valencia (España).  
E-Mail: Consolacion.Gomez@uv.es

### a) Tareas de vigilancia e índices de rendimiento

Las tareas de vigilancia –*watchkeeping tasks* o *monitoring tasks*- constituyen el paradigma experimental básico de estudio de la vigilancia en contexto laboratorio (Jerison, 1977). En general, las tareas de vigilancia consisten en mantener la atención hacia una fuente de estimulación durante un período prolongado e ininterrumpido de tiempo, en el que se presentan una serie de estímulos (p.ej., destellos de luz, letras, figuras, etc.), algunos de ellos señales y otros no-señales o ruido, ante los cuales el sujeto debe permanecer alerta y responder ante la aparición de las señales.

Los resultados obtenidos en este tipo de tareas se miden en términos de precisión (aciertos y errores de comisión) y velocidad (tiempo de reacción de los aciertos y tiempo de reacción de los errores de comisión). Estas variables dependientes son analizadas en los siguientes índices de rendimiento: a) nivel de vigilancia, que indica el rendimiento global obtenido en una tarea de vigilancia; b) función de decremento de vigilancia (o decremento de vigilancia), que muestra una disminución en el porcentaje de señales correctamente detectadas a través del tiempo. El deterioro del rendimiento aparece tras los primeros 10-15 minutos de ejecución de la tarea, siendo éste total entre los 20 y 35 minutos del transcurso de la misma (Teichner, 1974).

### b) Privación de sueño y vigilancia

La vigilancia hace referencia al estado o disposición general del organismo necesario para que se produzca el proceso atencional, en cuyo mantenimiento o sostenimiento están influyendo las características de la propia tarea (Parasuraman y Davies, 1977; Parasuraman, 1979; Parasuraman y Mouloua, 1989) y el nivel de alerta. Entre los diversos factores que pueden influir en el nivel de alerta, en la presente investigación hemos focalizado nuestro interés en el efecto de la privación parcial de sueño sobre la ejecución de dos tareas de vigilancia.

La importancia del sueño se debe a que sólo durante el mismo pueden recuperarse las funciones biológicas y psicológicas, que preservan un buen funcionamiento general del organismo. En concreto, las fases más profundas del sueño sincronizado (fases III y IV) parece que desempeñan una función de recuperación del desgaste producido durante la vigilia. En cuanto al sueño desincronizado o REM, los resultados obtenidos en algunas investigaciones sugieren que está relacionado con el funcionamiento de los procesos cognitivos y emocionales, tales como la consolidación de la memoria a largo plazo del material procesado durante la vigilia (Idzikowski, 1984; Smith, 1985). Así, en diversas investigaciones se registró un incremento en el tiempo dedicado a este tipo de sueño después de realizar una serie de tareas de aprendizaje durante el período de vigilia.

Los principales efectos producidos tras una privación de sueño afectan al rendimiento obtenido en la ejecución de tareas, nivel de alerta y estado de ánimo (Carskadon y Roth, 1991). En las investigaciones sobre la privación total de sueño -los sujetos permanecen en vigilia durante un período superior a 24 horas- se observa que, el nivel de ejecución en aquellas tareas que requieren un procesamiento continuo de la información, sin pausas, se produce un incremento en la variabilidad de ejecución (Wilkinson, 1968), que se corresponden con la aparición de lapsos –períodos sin respuesta-, que coinciden con las bandas de frecuencias más bajas del EEG, ondas theta y delta, y breves períodos de sueño (Bjerner, 1949). En otras investigaciones se ha producido un aumento de los errores de omisión (Poulton, Edwards, y Colquhoun, 1974; Wilkinson, 1960) y una mayor latencia de respuesta (Poulton et al. 1974); lo que indica que, el decremento de vigilancia es superior después de una noche de privación total de sueño frente a otra sin privación.

Sin embargo, en las investigaciones sobre privación total de sueño se han obtenido resultados contradictorios respecto a los efectos de negativos de la privación de sueño sobre la ejecución de tareas de vigilancia. Por ejemplo, cuando el nivel de complejidad de la tarea es al-

to, se contrarresta los efectos negativos de la somnolencia, no produciéndose un deterioro en la ejecución de dicha tarea. Además, si durante su realización se introduce un estímulo activador -un ruido- también se previene la aparición del deterioro en el rendimiento; y, por último, cuando el ritmo de ejecución puede ser marcado por el propio sujeto (autorritmo), apenas se observa un déficit en la ejecución de la tarea respecto al grupo control, ya que los sujetos privados de sueño, con un nivel de alerta o activación disminuido, tienden a realizar la tarea a un ritmo lento pero con bastante precisión (Williams et al. 1959).

En las investigaciones sobre privación parcial de sueño, los sujetos duermen un número menor de horas de sueño habituales durante una o varias noches consecutivas. Wilkinson, Edwards y Haines (1966) hallaron que, una restricción de 5 horas de sueño durante dos noches consecutivas producía un moderado decremento en vigilancia. En otras investigaciones realizadas se ha obtenido un declive en la ejecución de las tareas con una restricción a 3,5 horas de sueño durante 7 noches (Hamilton, Wilkinson y Edwards, 1972).

### Procedimiento experimental

El objetivo general de la presente investigación es determinar los efectos de la privación parcial de sueño sobre el rendimiento en tareas de vigilancia de diferente nivel de dificultad. Se formularon las siguientes hipótesis:

- Hipótesis 1: durante la condición de privación parcial de sueño se producirá una disminución subjetiva del nivel de alerta (o incremento de somnolencia) debido a la restricción de la cantidad de sueño.
- Hipótesis 2: en condiciones generales, el rendimiento obtenido en la tarea de mayor dificultad será inferior (precisión y velocidad) respecto a la tarea de menor dificultad; y la experiencia de carga de trabajo mental será superior en la tarea de mayor dificultad frente a la tarea de menor dificultad.
- Hipótesis 3: en la condición de privación parcial de sueño el rendimiento obtenido será in-

ferior y la carga de trabajo mental experimentada será superior a favor de la tarea de mayor dificultad.

### Sujetos

En el experimento participaron 16 sujetos (8 hombres y 8 mujeres), con edades comprendidas entre 19 y 30 años. Todos presentaban vista normal o corregida a normal (gafas o lentes) y no recibieron remuneración alguna por su participación.

Los participantes fueron sujetos sanos, sin problemas de salud que implicaran la ingesta de sustancias que alterasen el ciclo sueño-vigilia; con un patrón regular de sueño caracterizado por dormir diariamente un total de 7 a 8 horas de sueño; de manera que se durmieran entre las 24:00h y la 1:00h de la madrugada y se despertasen entre las 7:00h y las 8:00h de la mañana.

### Procedimiento

Todos los sujetos participaron en dos sesiones experimentales, en función de la condición de sueño asignada. Cada sesión duraba 3 horas aproximadamente, con media hora de descanso y, entre ambas sesiones transcurrían 7 días. En una misma sesión los sujetos realizaban las dos tareas de vigilancia y cumplimentaban dos escalas: la Escala de Somnolencia de Stanford, ESS, (Hoddes, Dement y Zarco, 1972; baremada en castellano por Buela-Casal y Sierra, 1984) y la escala de carga de trabajo mental NASA-TLX (Hart y Staveland, 1988).

De manera individualizada los sujetos fueron citados en el laboratorio entre las 8:00h-9:00h de la mañana. Se les preguntaba sobre la calidad del sueño. A continuación cumplimentaban la ESS y recibían las instrucciones de una de las tareas de vigilancia (i.e., la tarea de mayor dificultad), con un período de prueba de 1 minuto. Después realizaba dicha tarea de manera ininterrumpida. Finalizada ésta, el sujeto cumplimentaba la escala de *workload* NASA-TLX y después descansaba durante media hora. Transcurrido el período de descanso, el sujeto realizaba la otra tarea de vigilancia (la tarea de

menor dificultad) y, seguidamente, cumplimentaba la escala NASA-TLX.

Una vez realizada la primera sesión, los sujetos fueron citados a la semana siguiente, en el mismo día y a la misma hora, para cumplimentar la segunda sesión bajo la otra condición de sueño.

Por tanto, los sujetos realizaron en cada sesión experimental (condición de sueño normal y privación parcial de sueño) los dos tipos de tareas (mayor y menor nivel de dificultad).

Se contrabalanceó la asignación en la realización de las dos tareas de vigilancia con objeto de evitar el efecto de orden de la tarea.

### **Variables independientes**

*Condición de sueño: normal y privación parcial de sueño*

- La condición de sueño normal se corresponde con el número total de horas de sueño habituales en una noche, entre 7 y 8 horas. En esta condición, los participantes se dormían a la hora acostumbrada, sobre las 24:00h-1:00h de la madrugada, y se despertaban a la hora habitual, alrededor de las 7:00h-8:00h de la mañana.
- La condición de privación parcial de sueño se caracteriza por una reducción al 50% del total de horas habituales de sueño en una noche (entre 3 1/2-4 horas de sueño), la anterior al experimento. Para ello, los sujetos recibían instrucciones de dormirse más tarde de lo habitual, entre las 3:00-4:00h de la madrugada, y despertarse a la hora acostumbrada, alrededor de las 7:00h-8:00h de la mañana, con lo que al inicio del experimento llevaban el mismo tiempo de vigilia en las dos condiciones experimentales. De esta forma, el efecto principal hallado se atribuye a la privación parcial de sueño, y no a otras variables implicadas en los ritmos biológicos tales como el tiempo transcurrido desde el momento de despertarse, ni tampoco a la fatiga asociada al desempeño de otras actividades momentos antes del experimento.

*Tipo de tareas: mayor y menor nivel de dificultad*

Las tareas de vigilancia programadas se diferencian en el nivel de dificultad, que se operativiza con el número de estímulos presentado en los eventos. En la tarea de mayor dificultad se presentaron un total de cinco estímulos por evento; y en la tarea de menor dificultad aparecieron dos estímulos por evento. Suponemos que en la primera tarea el sujeto realizaba al menos cuatro comparaciones antes de emitir su respuesta, y sólo una comparación en esta última. Las instrucciones recibidas para realizar las dos tareas fueron similares: el sujeto debe presionar la tecla negra del panel subjetivo de control si una de las figuras situadas en la parte superior de la pantalla era idéntica a la figura patrón, situada en la parte inferior de la misma.

Las dos tareas presentan en común las siguientes características (ver tabla 1): los estímulos fueron no-simbólicos, con objeto de evitar que el efecto de familiarización con los estímulos facilitara la ejecución en dichas tareas, y estáticos, lo que facilitaba la localización de los estímulos en pantalla y contrarrestaba la posible dificultad añadida por la falta de familiaridad con este tipo de estímulos (ver See, Warm, Dember y Howe, 1997).

Cada evento podía ser observado durante dos segundos, período en el que todos los estímulos que componían un evento podían ser observados al mismo tiempo, ya que requerían un tipo de discriminación simultánea.

El ritmo de presentación de los estímulos fue alto, con una razón de 30 eventos por minuto.

Siguiendo la taxonomía de Parasuraman y Davies (1977), el tipo de discriminación simultánea no facilita la aparición de la función decrecimiento de vigilancia, pero hemos seleccionado éste porque pretendemos atribuir el posible declive del rendimiento a la condición de sueño y no al factor tarea; mientras que una razón de evento alta sí que lo facilita, y de esta manera tampoco evitamos la posible aparición de dicho decrecimiento.

En cada tarea de vigilancia se presentaron un total de 1200 eventos, distribuidos en cuatro

bloques iguales de 10 minutos de duración cada uno ( $4 \times 300 = 1200$  eventos). Respecto al número total de eventos, 480 fueron señales y, el resto, no-señales o ruido. Por tanto, la probabilidad de la señal fue de 0,4, que se trata de un valor intermedio de probabilidad, puesto que valores superiores a éste hubieran producido una alta tasa de respuesta y, valores inferiores, una baja tasa de respuesta en los sujetos (ver See, Warm, Dember y Howe, 1997), que no podría atribuirse al estado del sujeto derivada de la condición de sueño asignada.

**Tabla 1:** Características comunes de las Tareas de Vigilancia

<b>Tareas de Vigilancia</b>
Modalidad sensorial visual
Estímulos no-simbólicos y estáticos
Duración del evento en pantalla: 2 segundos
Discriminación simultánea
Alta razón de evento: 30 eventos por minuto
Periodo de duración total: 40 minutos
Número total de eventos: 1200 eventos
Número total de señales: 480 señales
Probabilidad de la señal: 0,4

### Tiempo

La variable independiente tiempo presenta cuatro niveles, que se corresponden con cuatro periodos temporales de 10 minutos de duración cada uno ( $4 \times 10 = 40$  minutos), necesarios para calcular el índice de rendimiento función decremento de vigilancia.

### Escalas

El nivel de somnolencia se evaluó con la Escala de Somnolencia de Stanford –ESS- (Hoddes et al. 1972; Buena-Casal y Sierra, 1994). La puntuación obtenida oscila entre 1 y 7 puntos.

El nivel de *mental workload* o carga de trabajo mental es “un constructo hipotético que representa el coste incurrido por el operador humano para lograr un nivel particular de ejecución” (Hart y Staveland, 1988). Éste se evaluó con la escala multidimensional *workload*

NASA *Task Load Index* (NASA-TLX, Hart y Staveland, 1988), cuyo valor global (oscila entre 0-100 puntos) se obtiene a partir del cómputo de las puntuaciones obtenidas en las seis subescalas que la componen: demanda de actividad mental, demanda de actividad física, demanda temporal, rendimiento, esfuerzo y nivel de frustración, que previamente han sido ponderadas por su peso correspondiente.

### Diseño

A partir de las puntuaciones registradas en la ESS, el nivel de somnolencia fue analizado mediante un ANOVA de medidas repetidas con un factor: condición de sueño (normal y privación parcial).

El rendimiento obtenido en la ejecución de las tareas de vigilancia fue analizado en cuatro ANOVAS de medidas repetidas  $2 \times 2 \times 4$ , cuyos factores fueron los siguientes: condición de sueño (normal y privación parcial), tipo de tarea (mayor y menor nivel de dificultad) y tiempo (cuatro periodos temporales de 10 minutos). Un ANOVA por cada una de las variables dependientes consideradas: aciertos, errores de comisión, tiempo de reacción de aciertos (TRA) y tiempo de reacción de los errores de comisión (TRE).

La carga de trabajo mental o *mental workload* experimentada durante la realización de las dos tareas de vigilancia, se analizó con un ANOVA de medidas repetidas  $2 \times 2$ , con los factores condición de sueño y tipo de tarea.

Se contrabalanceó el orden en la asignación a la condición de sueño y realización de las tareas.

### Aparatos

Las tareas de vigilancia fueron programadas a partir de una serie de modificaciones en la Variante S6 de la prueba *Cognitron Test* versión 7.0 (Schuhfried, 1995), que forma parte de una amplia batería de tests: *Vienna Test System M* versión 2.1 (Schuhfried, 1991).

El *Cognitron Test* es un programa computerizado que se utiliza en la investigación de diver-

tos procesos básicos: atención, percepción, concentración, vigilancia, memoria, etc. Esta prueba está formada por estímulos visuales presentados en el interior de cinco campos: cuatro dispuestos en forma de hilera en la parte superior de la pantalla y uno en la parte inferior de la misma.

## Resultados

El resultado obtenido en el ANOVA de medidas repetidas con el factor condición de sueño indica que, los sujetos experimentaron una mayor sensación de somnolencia en la condición de privación parcial de sueño frente a la condición de sueño normal ( $F_{1,15}=20,862$ ;  $MSe=0,725$ ;  $p=0,005$ ). Por tanto, se confirma la hipótesis 1 relativa a un nivel de alerta disminuido a favor de la condición de privación parcial de sueño (tabla 2).

**Tabla 2:** Descriptivos de Somnolencia

A	N	Rango	Media	DT
a1	16	1-5	2,31	1,25
a2	16	2-6	3,69	1,45

Somnolencia (A): condición normal de sueño (a1) y privación parcial de sueño (a2)

La hipótesis 2 se corrobora con la confirmación del nivel diferencial de dificultad de las tareas programadas. En este caso, el índice nivel de vigilancia se indica por el factor principal tarea y, el índice decremento de vigilancia, en la interacción de los factores tarea y tiempo, para cada una de las variables dependientes analizadas.

### Medidas de precisión: aciertos y errores de comisión

Los resultados obtenidos en el ANOVA  $2*2*4$  de la proporción de **aciertos** indican un efecto significativo de la interacción de segundo orden Condición de sueño\*Tarea\*Tiempo ( $F_{3,45}=2,823$ ;  $MSe=0,0015$ ;  $p=0,049$ ;  $\epsilon=0,661$ ), de la interacción Tarea\*Tiempo ( $F_{3,45}=4,853$ ;  $MSe=0,0016$ ;  $p=0,005$ ;  $\epsilon=0,991$ ), y de los fac-

tores principales Tarea ( $F_{1,15}=175,256$ ;  $MSe=0,016$ ;  $p=0,005$ ) y Tiempo ( $F_{3,45}=6,547$ ;  $MSe=0,0011$ ;  $p=0,001$ ;  $\epsilon=0,772$ ).

Para corroborar el cumplimiento del supuesto de esfericidad, se procedió a la corrección de los grados de libertad de la prueba F empírica (F conservadora) con el valor de  $\epsilon$  *Greenhouse-Geisser* asociado a la fuente de variación correspondiente. La interacción de segundo orden dejó de ser significativa ( $F_{t2,30}=3,32 > F_{e3,45}=2,823$ ) y el factor principal Tiempo continuó siendo significativo ( $F_{t2,35}=3,27 < F_{e3,45}=6,547$ ). No se consideró necesario realizar dicha corrección en la interacción Tarea\*Tiempo, por ser el valor de  $\epsilon$  próximo a la unidad.

El factor principal tarea muestra que la proporción de aciertos obtenida en la tarea de mayor dificultad fue inferior frente a la tarea de menor dificultad (tabla 3).

**Tabla 3:** Descriptivos del factor principal Tarea en Aciertos

B	N	Rango	Media	DT
b1	16	0,56-0,82	0,6663	7,5E-02
b2	16	0,88-0,96	0,9287	2,26E-02

Tipo de tarea (B): tarea de mayor dificultad (b1) y tarea de menor dificultad (b2)

Las pruebas *a posteriori* (efectos simples) de la interacción Tarea\*Tiempo en el factor Tarea revela que, la proporción de aciertos obtenidos en la tarea de menor dificultad es superior en comparación con la tarea de mayor dificultad para cada uno de los intervalos temporales considerados individualmente:

t1 ( $F_{1,15}=277,253$ ;  $MSe=0,0024$ ;  $p=0,005$ ),

t2 ( $F_{1,15}=215,979$ ;  $MSe=0,0025$ ;  $p=0,005$ ),

t3 ( $F_{1,15}=227,674$ ;  $MSe=0,0022$ ;  $p=0,005$ ) y

t4 ( $F_{1,15}=146,227$ ;  $MSe=0,0031$ ;  $p=0,005$ ).

Este resultado también corrobora el diferente nivel de dificultad de las tareas de vigilancia programadas (ver cuadro 1).

**Cuadro 1:** Descriptivos del factor Tarea en aciertos para cada uno de los niveles del factor Tiempo (t1, t2, t3 y t4).

Descriptivos del factor Tarea en t1				
B	N	Rango	Media	DT
b1	16	0,50-0,77	0,6391	7,934E-02
b2	16	0,89-0,90	0,9325	1,932E-02
Descriptivos del factor Tarea en t2				
B	N	Rango	Media	DT
b1	16	0,59-0,83	0,6616	8,074E-02
b2	16	0,84-0,97	0,9225	3,610E-02
Descriptivos del factor Tarea en t3				
B	N	Rango	Media	DT
b1	16	0,56-0,81	0,6753	7,586E-02
b2	16	0,86-0,97	0,9291	3,137E-02
Descriptivos del factor Tarea en t4				
B	N	Rango	Media	DT
b1	16	0,57-0,87	0,6894	8,481E-02
b2	16	0,90-0,97	0,9306	1,815E-02

Tipo de tarea (B): tarea de mayor dificultad (b1) y tarea de menor dificultad (b2)

Tiempo (T): primer período temporal de 10 minutos (t1), segundo período temporal de 10 minutos (t2), tercer período temporal de 10 minutos (t3) y cuarto período temporal de 10 minutos (t4)

Respecto al efecto simple en el factor tiempo, se obtuvo un efecto significativo en la tarea de mayor dificultad ( $F_{3,45}=6,88$ ;  $MSe=0,001$ ;  $p=0,001$ ,  $\epsilon=0,894$ ). La corrección de los grados de libertad no afectó a su significación estadística ( $F_{e3,45}=6,88 > F_{t3,40}=2,84$ ). La prueba *a posteriori* simple en los cuatro niveles del factor Tiempo respecto a la tarea de mayor dificultad indica que, en los niveles t3 ( $F_{1,15}=9,622$ ;  $p=0,007$ ) y t4 ( $F_{1,15}=13,464$ ;  $p=0,02$ ) se produce un aumento significativo en la proporción de aciertos obtenidos respecto a t1, que se corresponde con el primer período temporal de ejecución en dicha tarea. Es decir, en la tarea de mayor dificultad se obtuvo un incremento en la proporción de aciertos obtenidos durante el transcurso temporal de ejecución en la misma, concretamente a partir del tercer intervalo temporal (ver cuadro 2).

**Cuadro 2:** Descriptivos del factor Tiempo en aciertos para cada uno de los niveles del factor Tarea (b1 y b2).

Descriptivos factor Tiempo en b1				
B	N	Mínimo	Media	DT
t1	16	0,55-0,63	0,6391	7,934E-02
t2	16	0,59-0,66	0,6616	8,074E-02
t3	16	0,56-0,67	0,6753	7,586E-02
t4	16	0,57-0,68	0,6894	8,481E-02
Descriptivos factor Tiempo en b2				
B	N	Mínimo	Media	DT
t1	16	0,89-0,96	0,9325	1,932E-02
t2	16	0,84-0,97	0,9225	3,610E-02
t3	16	0,86-0,97	0,9291	3,137E-02
t4	16	0,90-0,97	0,9306	1,815E-02

Tipo de tarea (B): tarea de mayor dificultad (b1) y tarea de menor dificultad (b2)

Tiempo (T): primer período temporal de 10 minutos (t1), segundo período temporal de 10 minutos (t2), tercer período temporal de 10 minutos (t3) y cuarto período temporal de 10 minutos (t4)

En la tarea de menor dificultad las diferencias no fueron significativas a través del tiempo, por lo que se produjo un efecto techo, dado su menor nivel de dificultad ( $F_{3,45}=0,97$ ;  $MSe=0,0003$ ;  $p=0,415$ ).

El ANOVA de medidas repetidas  $2 \times 2 \times 4$  de la proporción de **errores de comisión** indica efectos significativos en los factores principales Tarea ( $F_{1,15}=74,539$ ;  $MSe=0,598$ ;  $p=0,005$ ) y Tiempo ( $F_{3,45}=3,158$ ;  $MSe=0,00077$ ;  $p=0,034$ ). Este último dejó de ser significativo una vez corregido los grados de libertad ( $F_{e3,45}=3,158 < F_{t2,27}=3,35$ ).

El factor principal tarea muestra que la proporción de errores de comisión obtenida en la tarea de mayor dificultad fue superior frente a la tarea de menor dificultad (tabla 4). Este resultado corrobora el nivel diferencial de dificultad a favor de la tarea de mayor dificultad.

**Tabla 4:** Descriptivos del factor principal Tarea en Errores de comisión.

B	N	Rango	Media	DT
b1	16	0,57-0,87	0,6894	8,481E-02
b2	16	0,90-0,97	0,9306	1,815E-02

Tipo de tarea (B): tarea de mayor dificultad (b1) y tarea de menor dificultad (b2)

### Medidas de velocidad: TRA y TRE

En el ANOVA de medidas repetidas 2\*2\*4 de los **tiempos de reacción de aciertos** (TRA) –registrado en centésimas de segundo-, los resultados indican un efecto significativo de los factores principales Tarea ( $F_{1,15}=75,225$ ;  $MSe=350,2$ ;  $p=0,005$ ) y Tiempo ( $F_{3,45}=26,779$ ;  $MSe=16,7$ ;  $p=0,005$ ,  $\epsilon=0,91$ ). El factor principal tarea muestra una superior latencia de respuesta en la tarea de mayor dificultad frente a la tarea de menor dificultad (tabla 5). Es decir, los sujetos necesitaron más tiempo para emitir su respuesta debido al superior nivel de dificultad de dicha tarea. Se confirma el nivel diferencial de dificultad de las dos tareas de vigilancia, a favor de la tarea de mayor dificultad.

**Tabla 5:** Descriptivos del factor principal Tarea en TRA

B	N	Rango	Media	DT
b1	16	123,31-150	135,7	7,66
b2	16	91,45-129,5	115,4	11,6

Tipo de tarea (B): tarea de mayor dificultad (b1) y tarea de menor dificultad (b2)

Por último, en el ANOVA de medidas repetidas 2\*2\*4 de los **tiempos de reacción de los errores de comisión** (TRE) –registrado en centésimas de segundo-, fueron significativos los factores principales tarea ( $F_{1,15}=40,824$ ;  $MSe=440,47$ ;  $p=0,005$ ) y tiempo ( $F_{3,45}=3,058$ ;  $MSe=257,35$ ;  $p=0,038$ ;  $\epsilon=0,724$ ).

El factor principal tarea indica que la latencia de respuesta en los errores de comisión fue superior en la tarea de mayor dificultad en comparación con la tarea de menor dificultad (tabla 6), lo que confirma de nuevo el nivel diferencial de dificultad a favor de la denominada tarea de mayor dificultad.

**Tabla 6:** Descriptivos del factor principal Tarea en TRE

B	N	Rango	Media	DT
b1	16	130,2-154,8	141,08	7,11
b2	16	99,7-145,1	124,32	13,5

Tipo de tarea (B): tarea de mayor dificultad (b1) y tarea de menor dificultad (b2)

Respecto a la hipótesis 3, el índice nivel de vigilancia se indica por la interacción de los factores condición de sueño y tarea y, el índice decremento de vigilancia, en la interacción de segundo orden entre los factores condición de sueño, tarea y tiempo. En el ANOVA de medidas repetidas 2\*2\*4 del TRE, obtuvimos efectos significativos relativos al factor condición de sueño. En concreto, los resultados muestran dos interacciones significativas: condición de sueño\*tiempo ( $F_{3,45}=4,249$ ;  $MSe=47,198$ ;  $p=0,01$ ,  $\epsilon=0,842$ ) y condición de sueño\*tarea ( $F_{1,15}=9,004$ ;  $MSe=117,11$ ;  $p=0,009$ ).

Las pruebas a posteriori (efectos simples) en la interacción condición de sueño\*tarea para el factor tarea, muestran una latencia de respuesta superior a favor de la tarea de mayor dificultad, tanto en la condición de sueño normal ( $F_{1,15}=17,826$ ;  $MSe=72,41$ ;  $p=0,01$ ) como en la condición de privación parcial de sueño ( $F_{1,15}=51,78$ ;  $MSe=66,97$ ;  $p=0,005$ ) –ver cuadro 3-.

**Cuadro 3:** Descriptivos del factor Tarea (b1 y b2) en TRE para cada uno de los niveles de la condición de sueño (a1 y a2)

Descriptivos TRE del factor Tarea en a1				
B	N	Rango	Media	DT
b1	16	130,1-152,7	139,61	6,33
b2	16	104,2-152,4	126,91	14,56
Descriptivos TRE del factor Tarea en a2				
B	N	Rango	Media	DT
b1	16	123,2-159,7	142,55	9,92
b2	16	95,2-140,7	121,73	15,14

Tipo de tarea (B): tarea de mayor dificultad (b1) y tarea de menor dificultad (b2)

Condición de sueño (A): normal (a1) y privación parcial (a2)

En cuanto al factor condición de sueño, las diferencias no fueron significativas ni en la tarea de mayor dificultad ( $F=1,847$ ;  $MSe=37,39$ ;  $p=0,194$ ) ni en la tarea de menor dificultad ( $F=2,76$ ;  $MSe=77,77$ ;  $p=0,117$ ), lo que muestra que la latencia de respuesta en los errores de comisión para una misma tarea fue similar en ambas condiciones de sueño. Por tanto, el nivel de alerta del sujeto no influyó diferencialmente en la velocidad de respuesta de los errores de

comisión dentro de una misma tarea. Este resultado se interpreta en términos de nivel diferencial de dificultad de las dos tareas, que es superior en la tarea de mayor dificultad.

La interacción de segundo orden no fue significativa, pero consideramos interesante comentar la interacción de primer orden condición de sueño\*tiempo, en la que una vez corregidos los grados de libertad continuó siendo significativa ( $F_{1,15}=4,249 > F_{t2,27}=3,27$ ). Las pruebas a *posteriori* (efectos simples) en el factor tiempo muestran un efecto significativo en la condición de sueño normal ( $F_{3,45}=5,346$ ;  $MSe=38,421$ ;  $p=0,003$ ;  $\epsilon=0,774$ ), cuyo resultado indica un descenso significativo en la latencia de respuesta de los errores de comisión a partir del tercer intervalo temporal respecto al primero: a medida que transcurría el tiempo los sujetos fueron más rápidos cometiendo errores. Respecto a la condición de privación parcial de sueño, las diferencias no fueron significativas ( $F_{3,45}=0,863$ ;  $MSe=27,25$ ;  $p=0,467$ ). Los efectos simples para el factor condición de sueño en cada uno de los niveles del factor tiempo no mostraron diferencias significativas (t1:  $F_{1,15}=0,81$ ;  $MSe=38,57$ ;  $p=0,382$ ; t2:  $F_{1,15}=3,758$ ;  $MSe=70,67$ ;  $p=0,072$ ; t3:  $F_{1,15}=0,426$ ;  $MSe=72,99$ ;  $p=0,524$ ; t4:  $F_{1,15}=0,218$ ;  $MSe=60,33$ ;  $p=0,647$ ) -ver cuadro 4-.

Resumiendo, en la interacción condición de sueño\*tiempo concluimos que, en la condición de sueño normal los sujetos fueron más rápidos errando (errores de comisión) durante la ejecución de la tarea de mayor dificultad, efecto que no fue significativo en la condición de privación parcial de sueño. Este resultado indica que los sujetos no alcanzaron un nivel estable de ejecución como sucedió en la tarea de menor dificultad.

### Carga de trabajo mental

A partir de las puntuaciones obtenidas en la escala NASA-TLX realizamos un ANOVA de medidas repetidas 2\*2, con los factores condición de sueño y tipo de tarea. Los resultados indican un efecto significativo del factor prin-

cipal tarea ( $F_{1,15}=53,75$ ;  $MSe=96,68$ ;  $p=0,005$ ) a favor de la tarea de mayor dificultad (tabla 7), lo que corrobora la hipótesis 2 en términos subjetivos. No obtuvimos diferencias significativas en el factor principal condición de sueño ( $F=0,041$ ;  $MSe=142,47$ ;  $p=0,843$ ) y en la interacción condición de sueño\*tarea ( $F=0,074$ ;  $MSe=54,47$ ;  $p=0,79$ ).

**Cuadro 4:** Descriptivos del factor tiempo (t1, t2, t3 y t4) en TRE para cada uno de los niveles de la condición de sueño (a1 y a2).

Descriptivos factor Tiempo en a1				
B	N	Rango	Media	DT
t1	16	112,5-153,3	134,97	11,32
t2	16	119,9-165,1	137,36	13,7
t3	16	118-148,6	131,3	9,1
t4	16	118,7-147,1	129,4	8,7
Descriptivos factor Tiempo en a2				
B	N	Rango	Media	DT
t1	16	110,6-146,2	132,99	11,96
t2	16	110,6-145,9	131,6	11,44
t3	16	108-154,1	133,27	13,11
t4	16	107,8-151,5	130,68	12,56

Condición de sueño (A): normal (a1) y privación parcial (a2)

Tiempo (T): primer período temporal de 10 minutos (t1), segundo período temporal de 10 minutos (t2), tercer período temporal de 10 minutos (t3) y cuarto período temporal de 10 minutos (t4).

**Tabla 7:** Descriptivos del factor principal Tarea en *mental workload*

B	N	Rango	Media	DT
b1	16	67,34-95	78,40	8,89
b2	16	40,5-83	60,38	11,1

Tipo de tarea (B): tarea de mayor dificultad (b1) y tarea de menor dificultad (b2)

### Discusión y conclusiones

En nuestro trabajo hemos pretendido analizar la influencia del nivel de alerta, alterado por la privación parcial de sueño, sobre la ejecución de dos tareas de vigilancia que difieren en el nivel de dificultad. Se asume que, en la condición de privación parcial de sueño, como elemento

fundamental en el mantenimiento del nivel de alerta, afecta, entre otros aspectos, a los procesos cognitivos implicados en la ejecución de tareas de vigilancia.

Así pues, en los resultados obtenidos se confirmó que una restricción al 50% del número total de horas de sueño habituales en una noche fue suficiente para que los sujetos experimentaran un nivel de alerta o activación general subjetivo disminuido, lo que evidencia la importancia de establecer un hábito sobre la cantidad de tiempo dedicado a dormir, al menos para disminuir la propia percepción subjetiva de somnolencia. No obstante, los sujetos sabían que en el experimento tenían que realizar una tarea computerizada, en la que se evaluaba su rendimiento (además de que era evidente la relación entre la cantidad de sueño y nivel de ejecución en tareas cognitivas), por lo que debemos tener en cuenta el efecto de la deseabilidad social de los participantes en el momento de cumplimentar la escala de somnolencia.

Por otra parte, se confirmó el nivel diferencial de dificultad en las dos tareas de vigilancia programadas en términos de ejecución global – nivel de vigilancia-, siendo éste superior a favor de la denominada tarea de mayor dificultad; mientras que, la ejecución de las tareas a través del tiempo muestra un incremento en la proporción de aciertos obtenidos en la tarea de mayor dificultad. Este efecto significativo indica que, paradójicamente, se ha producido un aumento de la capacidad de vigilancia, ya que los sujetos mejoraron su ejecución (acertaron más) en la tarea de mayor dificultad a través del tiempo, en vez del decremento en vigilancia que esperábamos (una disminución en la proporción de aciertos). Por definición, la función decremento de vigilancia indica un declive del rendimiento a través del tiempo, debido a la dificultad de mantener la atención durante un período prolongado de tiempo, necesario para la ejecución de una tarea de vigilancia. Este resultado coincide con el obtenido en el experimento realizado por Warm (1984), en el que una mayor complejidad de la tarea no facilitaba la aparición de la función decremento, sino que

podía invertirla, debido a un aumento en la motivación de los sujetos producido por la complejidad excesiva de los estímulos (ver Parasuraman, 1998). Señalamos que, el índice de rendimiento decremento de vigilancia no fue significativo en la tarea de menor dificultad, lo que revela una ejecución constante en función del tiempo, debido a que los sujetos alcanzaron pronto un nivel estable de ejecución –**efecto techo**- en dicha tarea. En términos de Norman y Bobrow (1975) se trataría de una **tarea limitada por los datos** y que, independientemente del estado del sujeto, el rendimiento obtenido permanece invariable; mientras que la tarea de mayor dificultad sería una **tarea limitada por los recursos**; de modo que, a más recursos invertidos durante su ejecución, el rendimiento mejora. En este caso, el mejor rendimiento – aciertos y TRE- creemos que obedece a un **efecto de práctica** sobre ésta tarea. Posiblemente, el efecto de la práctica haya facilitado que los sujetos automatizaran, en parte, los procesos u operaciones mentales implicados en la ejecución de las tareas (p.ej., Schneider y Shiffrin, 1977), con el consecuente menor consumo de recursos atencionales (p.ej., Kahneman, 1973).

En consonancia con los resultados esperados, se confirmó una percepción de carga de trabajo mental superior durante la ejecución de la tarea de mayor dificultad frente a la tarea de menor dificultad, lo que resulta coherente dadas la característica diferencial de programación de las dos tareas de vigilancia.

Sin embargo, la privación parcial de sueño no tuvo una repercusión sobre el rendimiento, tal y como formulamos en nuestras hipótesis de partida. Se obtuvo una mejora de la capacidad de vigilancia en la variable dependiente TRE: la latencia de respuesta de los errores de comisión fue superior a través de la ejecución de la tarea de mayor dificultad en función del tiempo. Además, la percepción de carga de trabajo mental durante la ejecución de las tareas fue similar en ambas condiciones de sueño.

Concluimos de forma más general y con planteamientos futuros más globales: la reducción del número total de horas de sueño pun-

tuales tiene efectos sobre el nivel subjetivo de alerta, aunque el rendimiento obtenido en tareas que requieren mantener un nivel de atención sostenida a través del tiempo no son tan evidentes como podría suponerse en principio. Ello indica que, la relación entre sueño-nivel de

alerta-ejecución en tareas de vigilancia es bastante compleja y es objeto de una *ulterior* investigación, en la que consideramos que el tipo de estímulo utilizado en dichas tareas está relacionado con factores motivacionales, los cuales deberían tenerse en cuenta.

## Referencias

- Bjerner, B. (1949). Alpha depression and lowered pulse rate during delayed actions in a serial reaction test: A study in sleep deprivation. *Acta Physiologica Scandinavica*, 19, Suppl. 65.
- Buela-Casal, G. y Sierra, J.C. (1984). Escalas para evaluar la activación-somnolencia. *Vig-Sueño*, 6, 6-13.
- Carskadon, M. A. y Roth, T. (1991). Sleep restriction. En Broughton y Ogilvie (eds.), *Sleep, Sleepiness and Performance* (pp.155-167). New York: Wiley & Sons.
- Davies, D.R. y Parasuraman, R. (1982). *The Psychology of Vigilance*. Academic Press Hamilton.
- Hamilton, P., Wilkinson, R.T. y Edwards, R.S. (1972). A study of four days partial sleep deprivation. En W.P. Colquhoun (Eds.), *Aspects of Human Efficiency* (pp. 101-114). London: English University Press.
- Hart, S.G. y Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Loas Index): Results of empirical and theoretical research. En P.A. Hancock y N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland.
- Head, S.H. (1923). The conception of nervous and mental energy: A physiological state of the nervous system. *British Journal of Psychology*, 14, 126-147.
- Hoddes, E., Dement, W. y Zarcoque, V. (1972). The development and use of the Stanford Sleepiness Scale (SSS). *Psychophysiology*, 9, 150.
- Horne, J. A. (1991). Dimensions to sleepiness. En Broughton y Ogilvie (Eds.), *Sleep, Sleepiness and performance* (pp. 169-196). New York: Wiley & Sons.
- Idzikowski, C. (1984). Sleep and memory. *British Journal of Psychology*, 75, 439-449.
- Jerison, H.J. (1977). *Vigilance, operational performance and psychological correlates*. New York: Plenum.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. New York: Prentice-Hall.
- Mackworth, N.H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1, 6-21.
- Mackworth, N.H. (1950). Researches on the measurement of human performance. *Medical Research Council Special Report*, 268. London: H.M.S.O.
- Norman, D.A. y Bobrow, D.G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64.
- Parasuraman, R. (1979). Memory load and event rate control sensitivity decrements in sustained attention. *Science*, 205, 924-927.
- Parasuraman, R. y Davies, D.R. (1977). A taxonomic analysis of vigilance performance. En R.R. Mackie (Ed.), *Vigilance: Theory, Operational Performance and Physiological correlates*. Nueva York: Plenum Press.
- Parasuraman, R. y Mouloua, M. (1987). Interaction of signal discriminability and task type in vigilance decrement. *Perception & Psychophysics*, 41, 17-22.
- Poulton, E.C.; Edwards, R.S. y Colquhoun, W.P. (1974). The interaction of the loss of a night's sleep with mild heat: Task variables. *Ergonomics*, 17, 59-73.
- Schneider, W. y Shiffrin, R.M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search and attention. *Psychological Review*, 84(1), 1-66.
- Schuhfried, G. (1991). *Vienna Test System* (versión 2.1). Austria.
- Schuhfried, G. (1995). *Cognitron* (versión 7.00). Austria.
- See, J.E.; Warm, J.S.; Dember, W.N. y Steven, R.H. (1997). Vigilance and signal detection theory: an empirical evaluation of five measures of response bias. *Human Factors*, 39(1), 14-29.
- Singh, I. y Parasuraman, R. (1998). *Human Cognition: a multidisciplinary perspective*. California: Sage Publications.
- Smith, C. (1985). Sleep states and learning: A review of the animal literature. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 9, 157-168.
- Teichner, W.H. (1974). Detection of a simple visual signal as a function of time of watch. *Human Factors*, 16, 339-353.
- Warm, J.S. (Ed.) (1984). *Sustained attention in human performance*. Chichester, UK: Wiley.
- Wilkinson, R.T. (1960). The effect of lack of sleep on visual watchkeeping. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 36-40.
- Wilkinson, R.T.; Edwards, R.S. y Haines, E. (1966). Performance following a night of reduced sleep. *Psychonomic Science*, 5, 471-472.
- Wilkinson, R.T. (1968) Sleep Deprivation: Performance Test for Partial and Selective Sleep Deprivation. En L. Abt and B. Reiss (Eds.) *Progress in Clinical Psychology* (pp. 28-42). New York: Grune and Stratton.

(Artículo recibido: 4-10-1999, aceptado: 5-6-2000)

