

## Estudio cortical de la atención en tests de simulación militar

M. Ángeles Idiazábal-Alecha, M. Victoria Sebastián-Guerrero, M. Antonia Navascués-Sanagustín, Carolina Arcos-Sánchez, M. Victoria Arana-Arisméndiz, Carlos Ruiz-López, José M. Iso-Pérez

**Introducción.** La atención es una de las funciones cerebrales superiores más estudiadas en nuestros días y la base de otros procesos cognitivos. En ocasiones se entiende como la concentración en una tarea. El nivel de ejecución de una tarea y la habilidad para procesar información son dependientes del estado de activación cerebral, que puede registrarse mediante el electroencefalograma (EEG).

**Objetivo.** Estudiar la atención en estados de reposo y durante el desarrollo de tareas propias del personal militar, explorando las diferencias entre dos grupos (cadetes/mandos).

**Sujetos y métodos.** Se han recogido señales de EEG de 19 cadetes y 17 oficiales de la Academia General Militar y del Hospital General de la Defensa durante tareas de simulación militar y en estados de reposo. Nuestro equipo utiliza metodología propia de sistemas dinámicos y técnicas fractales para modelizar y cuantificar las señales del EEG, en este caso para el cálculo de la dimensión fractal del registro de cada derivación. Los datos obtenidos en diversos estados cerebrales se someten a un estudio estadístico.

**Resultados.** Se observan mayores valores de las medias globales corticales en el grupo de mandos. La dimensión aumenta en ambos grupos al elevar la dificultad de la tarea en todas las áreas cerebrales, salvo en la zona frontal. Destacan las diferencias significativas entre grupos en la tarea de simulación de manejo de vehículos de combate en las zonas central, parietal y temporal.

**Conclusiones.** Los resultados obtenidos muestran que los dos grupos no se comportan de manera homogénea en la misma tarea de atención que implica un videojuego.

**Palabras clave.** Actividad cerebral. Atención. Cuantificación. Dimensión fractal. Electroencefalograma. Simulación militar.

### Introducción

La atención, uno de los últimos complejos procesos cerebrales en adquirir la categoría de función cerebral superior y base de muchos otros procesos cognitivos, es una de las funciones más estudiadas en estos momentos. El concepto de atención ha variado a lo largo del tiempo, y se considera actualmente como un conjunto de redes de áreas neurales que llevan a cabo operaciones específicas de procesamiento de información. De estas redes, cabe destacar dos: la red atencional anterior, localizada anatómicamente en áreas frontales del cerebro y relacionada fundamentalmente con la detección/selección de objetivos; y la red atencional posterior, vinculada con la orientación visuoespacial de la atención y constituida anatómicamente por áreas del tálamo, los colículos superiores y la corteza parietal posterior.

Así, la atención puede definirse como un mecanismo central de control del procesamiento de información, que actúa de acuerdo con los objetivos del organismo activando e inhibiendo procesos, y que puede orientarse hacia los sentidos, las estruc-

turas de conocimiento en memoria y los sistemas de respuesta. Además, se admite la posibilidad de que este mecanismo central de control muestre características estructurales diferentes dependiendo del área en la que actúe [1].

En ocasiones se entiende la atención como la concentración sobre una tarea. El mantenimiento de la vigilancia o la atención sostenida es posiblemente el primer requisito para las personas que se enfrentan a tareas, incluso si estas son monótonas. La disminución en la vigilancia en determinadas situaciones podría dar lugar a consecuencias peligrosas, como accidentes, pérdida de la vida, etc. Por tanto, el estudio de la atención y su pérdida durante la realización de distintas tareas es un tema de interés actual desde el punto de vista neurológico [2].

El nivel de ejecución en una tarea y la capacidad para procesar la información son dependientes del estado de activación cerebral en que se encuentra el sujeto [3]. Dicha activación puede estudiarse mediante el registro de las oscilaciones del potencial eléctrico del cerebro utilizando el electroencefalograma (EEG).

Instituto Neurocognitivo Incia; Hospital El Pilar; Quirónsalud; Barcelona (M.A. Idiazábal-Alecha). Inspección General del Ejército; Barcelona (J.M. Iso-Pérez). Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza; Academia General Militar (M.V. Sebastián-Guerrero, C. Ruiz-López). Escuela de Ingeniería y Arquitectura; Universidad de Zaragoza (M.A. Navascués-Sanagustín). Hospital General de la Defensa; Zaragoza, España (C. Arcos-Sánchez, M.V. Arana-Arisméndiz).

#### Correspondencia:

Dra. M. Victoria Sebastián Guerrero. Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza. Academia General Militar. Ctra. Huesca, s/n. E-50090 Zaragoza.

#### E-mail:

msebasti@unizar.es

#### Financiación:

Proyectos Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza. CUD-ID: 2013-16 y 2015-05.

#### Aceptado tras revisión externa:

05.03.18.

#### Cómo citar este artículo:

Idiazábal-Alecha MA, Sebastián-Guerrero MV, Navascués-Sanagustín MA, Arcos-Sánchez C, Arana-Arisméndiz MV, Ruiz-López C, et al. Estudio cortical de la atención en tests de simulación militar. Rev Neurol 2018; 66: 331-9.

#### English version available

at [www.neurologia.com](http://www.neurologia.com)

© 2018 Revista de Neurología

La mera inspección visual de la representación gráfica de las ondas no permite extraer toda la información que estas señales contienen. Varios autores han usado metodologías de la dinámica no lineal para describir cambios en la actividad del cerebro durante la realización de diversas tareas [4]. Yang et al [5], por ejemplo, utilizan la dimensión de correlación para cuantificar los cambios de actividad cerebral en la realización de siete tipos de EEG (reposo, aritméticas, gráficas, lingüísticas, de orientación, etc.). Nuestro equipo ha desarrollado métodos propios para la cuantificación del EEG aplicándolos al estudio de la atención durante la realización de distintas tareas en niños con trastorno por déficit de atención/hiperactividad [6-9].

Bodala et al [2] demuestran, mediante análisis del EEG, un aumento en el nivel de vigilancia en una tarea monótona debido a la integración de estímulos visuales ruidosos. Dichos estímulos externos distractores producen una supresión de la potencia delta relativa y un aumento de la actividad theta en la línea frontal media y de la *ratio* theta frontal/alfa parietal. Otros autores [10,11] estudiaron el aumento de la actividad delta a medida que se incrementa la fatiga. La supresión de la potencia delta relativa debido a la integración de un estímulo externo se relaciona con la inhibición de la fatiga y el aumento de los niveles de vigilancia. El aumento de la proporción de theta frontal respecto al alfa parietal sugiere un incremento de la excitación cortical y evidencia la mejoría en la capacidad de vigilancia.

El estudio de la atención durante la realización de diversas tareas mentales cobra mayor importancia cuando se analiza durante el desempeño de tareas propias del personal militar, de la salud, industrial, etc., y en todos los casos en los que se quiera evitar la disminución de la vigilancia en la realización de una tarea y mejorar el rendimiento en ella.

Astolfi et al [12] apuntan un aumento de la densidad de potencia espectral global del EEG durante las fases de despegue y aterrizaje del avión respecto a las etapas de vuelo en el aire (todas ellas realizadas en un simulador). Dussault et al [13] evalúan los cambios corticales debidos a las variaciones en el esfuerzo mental durante distintas secuencias de vuelo simulado, y detectan estados de ansiedad y vigilancia.

Di Stasi et al [14] analizan, utilizando el espectro de potencias del EEG, la actividad cerebral durante procedimientos de vuelo real de variada complejidad llevados a cabo por pilotos de helicópteros militares. En dicho artículo observan cómo las tareas de mayor dificultad, como el despegue o

el aterrizaje, corresponden a los valores más altos de la potencia en las bandas altas de frecuencia del EEG, mientras que los procedimientos de vuelo menos exigentes se asocian con potencias menores del EEG en las mismas bandas de frecuencia. Sus resultados indican que el espectro de potencia del EEG es sensible a las variaciones de complejidad de los procedimientos empleados durante el vuelo real.

Dussault et al [15] utilizan indicadores del EEG para registrar la actividad cerebral durante las tareas de pilotaje en un vuelo real con varios ejercicios de diferentes niveles de dificultad. Muestran un incremento del 22,5% de la actividad de la banda theta durante el vuelo respecto a los períodos de descanso, y una disminución de alfa del 30%.

Borghini et al [16] realizan una revisión bibliográfica sobre las pruebas neurofisiológicas registradas a pilotos y conductores en tareas de manejo de sus vehículos, en las que se relaciona la actividad cerebral con la sobrecarga o fatiga mental en estas tareas. Observan un aumento de potencia del EEG en la banda theta y una disminución en la banda alfa en las pruebas que requieren una alta carga de trabajo mental, así como un aumento de dicha potencia en las bandas theta, delta y alfa en la transición entre el esfuerzo y la fatiga mental. Otros trabajos han revelado recientemente la existencia de redes cerebrales corticales y subcorticales implicadas en la variación de los espectros de potencia del EEG durante las tareas complejas como volar o conducir [12,17].

Nuestro grupo ha explorado la actividad cerebral durante la simulación de manejo de vehículos de combate usando parámetros de cuantificación del EEG (dimensión fractal, parámetros de Hjorth, etc.) calculados por métodos propios. Estos parámetros han demostrado ser buenos indicadores de actividad cerebral, y varían en las áreas involucradas en el desempeño de la tarea de simulación [18-20].

El trabajo que aquí se presenta se centra en el estudio de las diferencias en la actividad cerebral entre un grupo de cadetes de la Academia General Militar de Zaragoza y un grupo de mandos de dicha academia y del Hospital General de la Defensa de Zaragoza durante la realización de diversas tareas de simulación militar, así como en situaciones de reposo con los ojos abiertos y cerrados. Las medidas realizadas se basan en el cálculo de la complejidad geométrica de las ondas cerebrales. La cuantificación analizada por nuestro equipo muestra que los dos grupos en estudio no se comportan de forma homogénea frente a la misma tarea de atención en la que interviene un videojuego.

## Sujetos y métodos

### Aprobación del comité ético

El estudio se ajusta a lo que indica la Ley de Investigación Biomédica (Ley 14/2007, de 3 de julio, de investigación biomédica) y se rige por los principios acordados en la Declaración de Helsinki. El protocolo de investigación y el consentimiento informado fueron aprobados por el Comité Ético de Investigación Clínica de la Inspección General de Sanidad de la Defensa. Cada sujeto participante firmó su correspondiente hoja de información al paciente y consentimiento informado antes de la realización de la prueba.

### Sujetos y diseño experimental

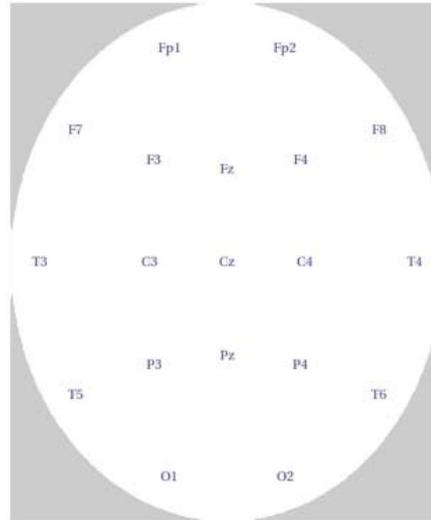
La muestra utilizada para el estudio pertenece a dos grupos de voluntarios de las Fuerzas Armadas, el primero compuesto por 19 cadetes de la Academia General Militar de Zaragoza y el segundo por un grupo de 17 oficiales y suboficiales de dicha academia y del Hospital General de la Defensa de Zaragoza. La edad media del grupo de cadetes es de  $20,33 \pm 2,22$  años, y la del grupo de mandos, de  $42,55 \pm 9,18$  años.

Las señales del EEG analizadas en el trabajo se han recogido en el Hospital General de la Defensa de Zaragoza. Para cada sujeto se han grabado, en el orden que se indica, seis tipos de señales de EEG de tres minutos de duración:

- Reposo con los ojos cerrados (oc).
- Reposo con los ojos abiertos (oa).
- Simulación de manejo de un carro de combate con un videojuego dotado de sonido (j1).
- Realización de la tarea j1 mientras el sujeto recibe estímulos distractores externos (debe a la vez contestar preguntas que nada tienen que ver con la realización de la prueba) (j2).
- Repetición del ejercicio de simulación j1 sin estímulos externos (j3).
- Reposo con los ojos abiertos (oa2).

Las pruebas se han realizado en un recinto débilmente iluminado, silencioso, a temperatura constante y en una sala eléctricamente blindada, siempre entre las 10 y las 14 horas. La señal del EEG de cada sujeto se ha grabado con un equipo ambulatorio digital que usa el programa Compumedics Limited Profusion EEG 4. El montaje es monopolar (con electrodos de Ag/AgCl) y se utilizan 16 canales del sistema 10-20 internacional de Jasper referenciados a Cz, de los que se analizan 12: C3, C4,

**Figura 1.** Disposición de los electrodos en el sistema 10-20 de Jasper.



F7, F8, O1, O2, P3, P4, T3, T4, T5 y T6 (Fig. 1). Se han aplicado filtros con frecuencias de corte de 0,5 y 70 Hz. Una vez registrada la señal se ha digitalizado con un conversor propio del programa muestreando a 256 puntos por segundo. Se ha analizado el tercer minuto de cada una de las señales.

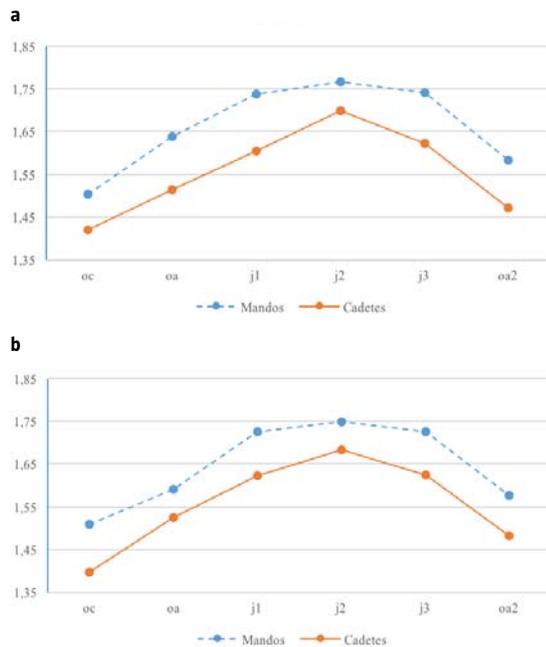
Antes de la realización de las pruebas con EEG, los sujetos respondieron al cuestionario de salud del ejército (anexo a la Instrucción 22/2008, de 31 de enero) y a varios cuestionarios personales. Una vez finalizada la grabación de los registros, los sujetos realizaron el test de atención selectiva d2 de tiempo limitado, que mide la velocidad de procesamiento, el seguimiento de unas instrucciones y la bondad de la ejecución en una tarea de discriminación de estímulos visuales similares.

### Análisis del electroencefalograma

En este trabajo se propone el uso del cuantificador denominado dimensión fractal de varianza, que no es excesivamente restrictivo en cuanto a hipótesis de estacionalidad de la señal y no necesita registros demasiado largos, por lo que su computación se simplifica.

La dimensión fractal de una curva es un parámetro adimensional que toma, en general, un valor fraccional entre 1 y 2, que indica la densidad con la que un conjunto (en este caso una curva) ocupa el espacio métrico en el que está situado, es decir, su dimensión como objeto geométrico. Se trata de una

**Figura 2.** Valores promedio de la dimensión fractal en los canales P3 (a) y P4 (b) comparando la dimensión en el grupo de mandos y en el de cadetes para los distintos tipos de electroencefalograma.



medida de la complejidad de un registro que permite establecer comparaciones entre diferentes conjuntos y señales.

En este trabajo se ha implementado un procedimiento para calcular la dimensión fractal de varianza ( $D$ ) del trazado de cada canal del EEG como curva del plano real, utilizando la relación existente con otro parámetro de cuantificación, el exponente de Hurst ( $H$ ):  $D = 2 - H$ .

El exponente de Hurst es un indicador de la autosimilaridad y la persistencia de la señal. Dependiendo del valor de  $H$ ,  $0 \leq H \leq 1$ , se puede distinguir el 'color' del movimiento o la señal. El valor  $H = 0$  se asocia a un ruido blanco (correspondiente a  $D = 2$ ),  $H = 1$  indica una señal suave ( $D = 1$ ) y  $H = 0,5$  se relaciona con un movimiento browniano o ruido rojo. Es decir, a mayor valor de  $H$  (o equivalentemente a menor valor de la dimensión fractal), la señal es más predecible o menos compleja.

### Análisis estadístico

Una vez calculados los valores de la dimensión fractal para cada uno de los canales y tipo de EEG, se ha realizado un estudio estadístico completo de los resultados obtenidos, con dos fases diferenciadas:

- Análisis exploratorio de los datos acompañado de diagramas de barras, gráficos *box-plot* y gráficos de error.
- Estudio de la existencia de posibles diferencias significativas entre los dos grupos en estudio (cadetes y mandos) en cada uno de los tipos de EEG analizados en los 12 canales, aplicando un contraste de hipótesis. Se ha aplicado la prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la hipótesis de normalidad de los datos y la prueba de Levene para comprobar la hipótesis de homocedasticidad (igualdad de varianzas). No se rechaza ninguna de las hipótesis en todos los canales con un nivel de confianza del 95%, por lo que se va a aplicar una prueba paramétrica  $t$  para muestras independientes que permite contrastar la hipótesis de que la diferencia de medias entre los dos grupos es cero en cualquiera de los 12 electrodos y tipo de EEG, con un nivel de confianza al 95% ( $\alpha = 0,05$ ) y al 99% ( $\alpha = 0,01$ ).

### Resultados

Tras el análisis exploratorio de los datos se observa que las medias globales corticales de los valores obtenidos para la dimensión fractal en el grupo de mandos en los seis tipos de EEG analizados y en los 12 canales son mayores que las medias en el grupo de cadetes, como se aprecia en la última fila de la tabla I. Sólo se da un caso de aproximación de medias durante la realización de la tarea j2 en el electrodo T3. Sin embargo, tras el contraste de hipótesis se comprobó que estas diferencias son sólo significativas en determinados tipos de EEG y electrodos.

En la figura 2 se puede observar cómo, por ejemplo, en los canales del área parietal (P3, P4), los valores promedio de la dimensión son superiores para los mandos en todos los tipos de EEG.

Se ha observado además que el rango de variación de la dimensión es 1,384-1,848. En el grupo de cadetes el mínimo es 1,384 en el test basal de ojos cerrados, canales O1 y O2, y el valor máximo es 1,845 en el electrodo T3 de la tarea j2. En el grupo de mandos, el mínimo se da en el test basal de ojos cerrados tomando el valor de 1,456 en O2 y el máximo es 1,848 en el canal T4 en la tarea j2, que es la que requiere atención máxima. Por tanto, las áreas donde se dan los mínimos y los máximos del parámetro coinciden en ambos grupos.

Los gráficos *box-plot* de la figura 3 muestran que los valores de la dimensión en los mandos son superiores a los valores del parámetro para los cadetes en todos los tipos de EEG en los canales de la

**Tabla I.** Valores promedio de la dimensión fractal para los dos grupos (mandos/cadetes).

	Mandos						Cadetes					
	oc	oa	j1	j2	j3	oa2	oc	oa	j1	j2	j3	oa2
C3	1,638	1,709	1,741	1,793	1,746	1,659	1,572	1,603	1,638	1,723	1,649	1,566
C4	1,625	1,667	1,752	1,773	1,742	1,612	1,549	1,591	1,623	1,707	1,633	1,555
F7	1,718	1,778	1,715	1,780	1,702	1,754	1,677	1,723	1,640	1,752	1,655	1,712
F8	1,717	1,770	1,709	1,797	1,715	1,752	1,678	1,708	1,667	1,753	1,667	1,709
O1	1,461	1,617	1,755	1,793	1,741	1,603	1,384	1,533	1,696	1,749	1,692	1,528
O2	1,456	1,575	1,762	1,789	1,770	1,574	1,384	1,549	1,684	1,742	1,666	1,528
P3	1,504	1,639	1,738	1,767	1,742	1,583	1,421	1,514	1,605	1,699	1,623	1,472
P4	1,509	1,591	1,726	1,749	1,725	1,576	1,396	1,526	1,623	1,682	1,624	1,482
T3	1,682	1,783	1,761	1,842	1,761	1,730	1,615	1,682	1,715	1,845	1,729	1,704
T4	1,641	1,714	1,792	1,848	1,801	1,699	1,624	1,668	1,742	1,821	1,716	1,681
T5	1,508	1,657	1,819	1,846	1,827	1,643	1,456	1,575	1,709	1,779	1,723	1,574
T6	1,463	1,619	1,829	1,828	1,819	1,616	1,416	1,562	1,710	1,790	1,705	1,525
Media	1,577	1,677	1,758	1,800	1,758	1,650	1,514	1,603	1,671	1,754	1,674	1,586

j1: simulación de manejo de un carro de combate con un videojuego dotado de sonido; j2: realización de la tarea j1 mientras el sujeto recibe estímulos distractores externos; j3: repetición del ejercicio de simulación j1 sin estímulos externos; oa: reposo con los ojos abiertos; oa2: reposo con los ojos abiertos; oc: reposo con los ojos cerrados.

**Tabla II.** Diferencias de los valores promedio de la dimensión fractal entre los grupos para cada electrodo y tipo de electroencefalograma.

	oc	oa	j1	j2	j3	oa2
C3	0,066	0,106	0,103	0,070	0,097	0,093
C4	0,076	0,076	0,129	0,067	0,109	0,057
F7	0,041	0,055	0,075	0,028	0,047	0,042
F8	0,039	0,062	0,042	0,044	0,047	0,043
O1	0,077	0,084	0,059	0,044	0,049	0,075
O2	0,073	0,027	0,078	0,047	0,104	0,045
P3	0,083	0,125	0,133	0,068	0,119	0,111
P4	0,112	0,065	0,103	0,066	0,101	0,094
T3	0,067	0,101	0,046	-0,004	0,032	0,026
T4	0,018	0,047	0,050	0,027	0,086	0,018
T5	0,052	0,082	0,111	0,068	0,105	0,069
T6	0,047	0,056	0,118	0,037	0,114	0,091

j1: simulación de manejo de un carro de combate con un videojuego dotado de sonido; j2: realización de la tarea j1 mientras el sujeto recibe estímulos distractores externos; j3: repetición del ejercicio de simulación j1 sin estímulos externos; oa: reposo con los ojos abiertos; oa2: reposo con los ojos abiertos; oc: reposo con los ojos cerrados.

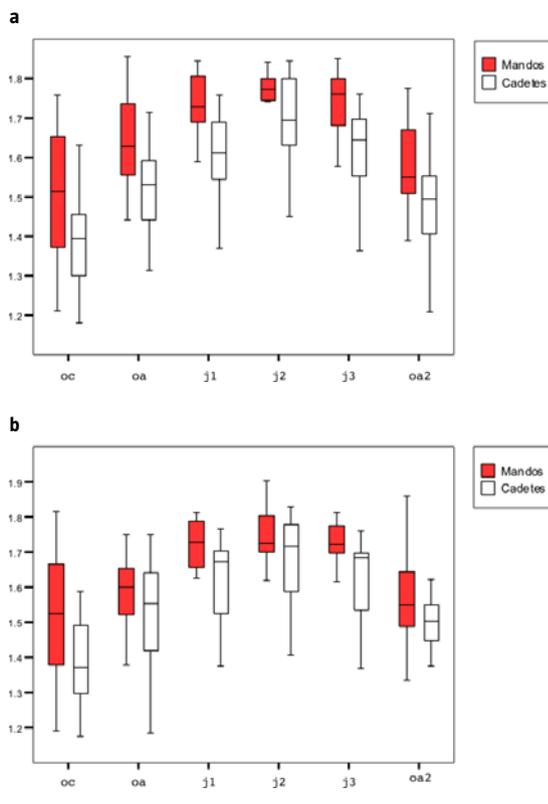
zona parietal (P3 y P4). Se observa además que, en las tareas j1, j2 y j3, los valores de la dimensión obtenidos por los mandos son mucho más homogéneos (*box-plot* más pequeños) que los del grupo de cadetes tanto en P3 como en P4. En oc y oa2, los valores del parámetro en los mandos son más heterogéneos que los valores en el grupo de cadetes. Las dimensiones se incrementan a medida que la dificultad de la tarea aumenta, hasta llegar al máximo en j2, y descienden a partir de este hasta el EEG final de ojos abiertos (Figs. 2, 3 y 4).

Estudiando las diferencias de las medias entre los dos grupos en estudio, en cada uno de los casos (electrodo y tipo de EEG) se observa, como puede verse en la tabla II, que la diferencia mayor se da en el electrodo P3 durante la realización de la tarea j1 y toma un valor de 0,133 a favor de los mandos. La menor diferencia es 0,004 en la localización T3 durante la realización de la tarea de simulación con estímulos externos j2 a favor de los cadetes (único dato negativo de la tabla).

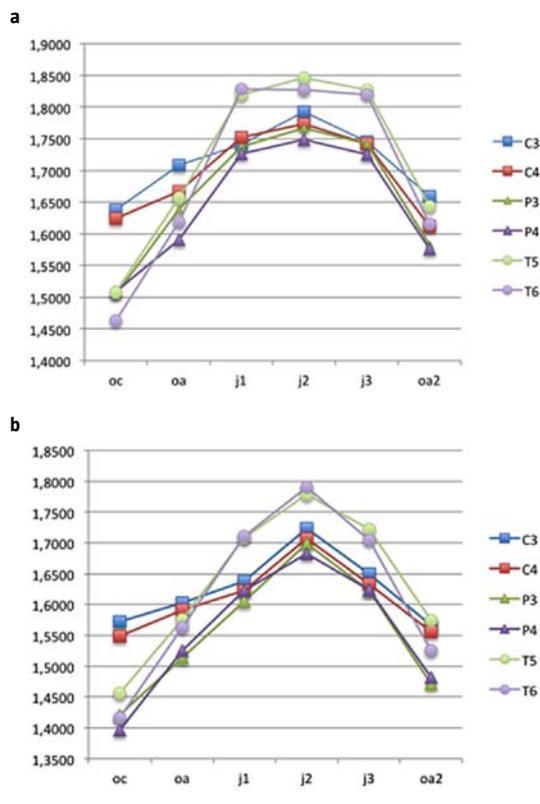
Observando en cada uno de los grupos la evolución de la dimensión fractal al cambiar de tipo de EEG (Tablas I y III), se puede concluir:

- En ambos grupos la dimensión aumenta al pasar del estado de reposo con ojos cerrados (oc) al de reposo con ojos abiertos (oa) en todos los electrodos. Esta diferencia es más acusada en las zonas occipitales, temporales y parietales.
- En el paso del EEG basal (oa) a la realización de la tarea de simulación j1 se produce un aumento generalizado de la dimensión en los dos grupos en casi todas las áreas cerebrales salvo en la zona frontal (F7, F8), donde hay una disminución. En el grupo de mandos se produce una disminución muy débil en el electrodo T3.
- La realización de la tarea de simulación con estímulos externos (j2) supone un aumento de la dimensión respecto a la tarea j1 en prácticamente todos los canales y en ambos grupos.
- Tras realizar la tarea j2, la vuelta a la tarea de simulación sin estímulos externos (j3) supone una

**Figura 3.** Box-plot de las dimensiones en ambos grupos en los electrodos P3 (a) y P4 (b) para cada uno de los seis tipos de electroencefalograma.



**Figura 4.** Evolución de la dimensión promedio en cada grupo con el cambio de tarea en seis electrodos: a) Mandos; b) Cadetes.



disminución de la dimensión en todas las áreas cerebrales en ambos grupos.

- Finalizada la tarea j3 y una vez retirado el simulador, al volver al estado basal (oa2) se produce una disminución de la dimensión en todos los canales (en ambos grupos), salvo en la zona frontal (F7, F8) donde hay un aumento.
- Comparando los valores de la dimensión en estado basal con ojos abiertos antes y después de las pruebas de simulación (oa, oa2), se puede observar que en el grupo de mandos hay un descenso de la dimensión en todos los canales en el último caso con respecto al primero. En el grupo de cadetes también se produce la disminución de la dimensión respecto a la primera prueba, salvo en los canales F8, T3 y T4. Estos cambios podrían reflejar una menor activación en la prueba final.
- La activación (incremento de la dimensión) debida a la tarea j1 es superior en el grupo de mandos en promedio (última fila, segunda columna

tabla III). Sin embargo, la activación por estímulos externos es mayor en el grupo de cadetes (última fila, tercera columna, tabla III).

En la segunda fase del estudio estadístico, al aplicar el contraste de hipótesis entre los dos grupos con el mismo tipo de EEG, se obtienen las diferencias significativas que se describen en la tabla IV. Puede observarse que las mayores variaciones entre grupos se registran durante las tareas j1 y j3, correspondientes al ejercicio de simulación sin estímulos externos, en las áreas parietales, temporales y centrales. Los valores obtenidos son mayores en el grupo de mandos.

### Discusión

Desde el punto de vista cuantitativo, los mayores valores en las medias de la dimensión fractal obtenidos en todo el grupo de mandos respecto al gru-

po de cadetes apuntan a una activación cerebral ligeramente superior en los mandos al realizar las tareas j1 y j3.

Además, se evidencia cómo el parámetro en estudio detecta los cambios de actividad cerebral con el cambio de tipo de EEG en cada uno de los grupos, aumentando a medida que la ejecución de la tarea se hace más compleja y requiere mayor atención (activación de más áreas cerebrales), y disminuyendo cuando va cesando la actividad.

El aumento de dimensión en las áreas cerebrales posteriores al pasar de reposo con ojos cerrados a reposo con ojos abiertos se explica por el bloqueo del ritmo alfa producido en condiciones normales al abrir los ojos, lo que indica una adecuada reactividad cortical.

El aumento de dimensión en los dos grupos al pasar del reposo con ojos abiertos (oa) a la tarea de simulación (j1) indica la activación de la red atencional posterior directamente relacionada con la atención visuoespacial. El hecho de que el paso del estado basal de ojos abiertos a la realización de la tarea j1 produzca en ambos grupos una disminución de dimensión en la zona frontal se puede explicar por la aparición de actividad lenta en dicha zona debido a que la tarea requiere la activación del resto de áreas cerebrales, responsables del procesamiento sensorial (auditivo y visual).

El aumento de dimensión sufrido por ambos grupos al pasar de la tarea de simulación (j1) a la simulación con estímulos externos (j2) y posterior disminución al volver a la simulación (j3) se explica por el mayor grado de activación cortical requerido ante la aparición de estímulos distractores. Es sabido que en estados de máxima alerta se produce una inhibición de la fatiga y un aumento de los niveles de vigilancia que se traduce en el EEG en una supresión o disminución significativa de la potencia delta y en un aumento de la actividad theta frontal debido a la integración de los estímulos externos [21]. Esto concuerda con los datos obtenidos para la mayor dimensión.

La disminución de la dimensión al comparar el primer estado basal con ojos abiertos (oa) y el segundo (oa2) puede deberse al estado de fatiga o cansancio tras la realización de las tareas.

Los resultados obtenidos en el contraste de hipótesis evidencian que en estado basal apenas existen diferencias significativas entre el grupo de mandos y cadetes, lo que corrobora la idea médica de que en estos grupos no existen diferencias cerebrales básicas por edad [22], o bien que estas deben ser muy débiles, si bien es un hecho conocido que la actividad bioeléctrica se hace más compleja

**Tabla III.** Diferencias de los valores promedio de la dimensión fractal entre un tipo de electroencefalograma y el anterior.

	Mandos					Cadetes				
	oa-oc	j1-oa	j2-j1	j3-j2	oa2-j3	oa-oc	j1-oa	j2-j1	j3-j2	oa2-j3
C3	0,071	0,033	0,051	-0,047	-0,087	0,031	0,035	0,085	-0,074	-0,083
C4	0,043	0,085	0,021	-0,032	-0,130	0,042	0,032	0,084	-0,074	-0,078
F7	0,060	-0,063	0,065	-0,078	0,052	0,046	-0,083	0,112	-0,097	0,057
F8	0,053	-0,061	0,088	-0,082	0,037	0,030	-0,041	0,086	-0,085	0,042
O1	0,157	0,137	0,038	-0,052	-0,138	0,149	0,163	0,053	-0,057	-0,164
O2	0,119	0,187	0,027	-0,020	-0,196	0,165	0,136	0,058	-0,077	-0,137
P3	0,135	0,099	0,029	-0,025	-0,159	0,093	0,091	0,094	-0,076	-0,151
P4	0,082	0,136	0,023	-0,024	-0,149	0,129	0,098	0,059	-0,059	-0,142
T3	0,101	-0,022	0,080	-0,081	-0,031	0,068	0,033	0,131	-0,116	-0,025
T4	0,073	0,077	0,056	-0,046	-0,103	0,044	0,074	0,079	-0,105	-0,035
T5	0,149	0,163	0,027	-0,019	-0,184	0,120	0,134	0,070	-0,056	-0,148
T6	0,156	0,210	-0,002	-0,008	-0,203	0,146	0,148	0,080	-0,085	-0,180
Media	0,099	0,082	0,042	-0,043	-0,108	0,089	0,068	0,083	-0,080	-0,087

j1: simulación de manejo de un carro de combate con un videojuego dotado de sonido; j2: realización de la tarea j1 mientras el sujeto recibe estímulos distractores externos; j3: repetición del ejercicio de simulación j1 sin estímulos externos; oa: reposo con los ojos abiertos; oa2: reposo con los ojos abiertos; oc: reposo con los ojos cerrados.

con la edad, incrementándose desde la infancia a la madurez. Hasta hace un tiempo se consideraba que la maduración cerebral se producía a una edad temprana anterior a los 20 años. Un estudio actual del Instituto de Neurociencia Cognitiva de Londres sugiere que el cerebro continúa su desarrollo pasada la pubertad y que alcanza su madurez pasados los 30 años, y en algunos casos tras cumplir la cuarentena [23].

Las diferencias significativas entre los dos grupos se dan fundamentalmente durante la realización de la tarea de simulación de conducción de carro de combate (j1) en las zonas centrales, parietales y temporales. La corteza parietal posterior, de predominio derecho, constituiría el principal asentamiento de un sistema atencional posterior encargado de la atención selectiva y focalizada [24]. Esta zona parietal posterior muestra íntimas asociaciones con los campos oculares frontales y se activa en las pruebas de búsqueda visual.

**Tabla IV.** Valores  $p$  del test  $t$  que compara la dimensión promedio de mandos y cadetes en cada tipo de electroencefalograma.

	oc	oa	j1	j2	j3	oa2
C3	0,320	0,076	0,011 <sup>a</sup>	0,062	0,007 <sup>b</sup>	0,065
C4	0,195	0,144	0,002 <sup>b</sup>	0,096	0,004 <sup>b</sup>	0,252
F7	0,393	0,202	0,074	0,345	0,213	0,386
F8	0,410	0,166	0,288	0,167	0,217	0,372
O1	0,154	0,051	0,174	0,247	0,252	0,103
O2	0,170	0,556	0,106	0,201	0,020 <sup>a</sup>	0,348
P3	0,165	0,006 <sup>b</sup>	0,001 <sup>b</sup>	0,073	0,001 <sup>b</sup>	0,037 <sup>a</sup>
P4	0,042 <sup>a</sup>	0,145	0,003 <sup>b</sup>	0,078	0,003 <sup>b</sup>	0,040 <sup>a</sup>
T3	0,240	0,070	0,274	0,903	0,466	0,573
T4	0,765	0,368	0,293	0,378	0,054	0,742
T5	0,314	0,091	0,013 <sup>a</sup>	0,145	0,018 <sup>a</sup>	0,127
T6	0,356	0,236	0,004 <sup>b</sup>	0,339	0,004 <sup>b</sup>	0,077

j1: simulación de manejo de un carro de combate con un videojuego dotado de sonido; j2: realización de la tarea j1 mientras el sujeto recibe estímulos distractores externos; j3: repetición del ejercicio de simulación j1 sin estímulos externos; oa: reposo con los ojos abiertos; oa2: reposo con los ojos abiertos; oc: reposo con los ojos cerrados. <sup>a</sup>Nivel de significación  $p \leq 0,05$ ; <sup>b</sup>Nivel de significación  $p \leq 0,01$ .

La falta de diferencias significativas entre grupos durante la realización de la tarea de simulación de conducción con estímulos externos (j2), que es la tarea más compleja y, por tanto, requiere máxima atención y consecuentemente ha obtenido los valores promedio más altos en la dimensión, podría indicar que en estados de máxima alerta se requiere el mismo grado de activación de las áreas cerebrales en los dos grupos.

Los resultados anteriores evidencian que la dimensión fractal es un buen indicador de la actividad cerebral, hecho que nuestro grupo ya había comprobado en el estudio de niños con trastorno por déficit de atención/hiperactividad [6] y en otros trabajos de simulación de tareas militares [18,19]. El proceso atencional desarrollado para llevar a cabo una operación cognitiva (atención denominada atención de preparación) moviliza los esquemas o respuestas más apropiadas a la tarea que se va a desempeñar, lo cual implica la activación de las zonas cerebrales donde se realiza el proceso neuro-

cognitivo. El incremento de la dimensión fractal registra numéricamente dicha activación.

#### Bibliografía

- Colmenero JM, Catena A, Fuentes LJ. Atención visual: un estudio de las redes atencionales del cerebro. *Anales de Psicología* 2001; 17: 45-67.
- Bodala IP, Li J, Thakor NV, Al-Nashash H. EEG and eye tracking demonstrate vigilance enhancement with challenge integration. *Front Hum Neurosci* 2016; 10: 273.
- Oken BS, Salinsky MC, Elsas SM. Vigilance, alertness, or sustained attention: physiological basis and measurement. *Clin Neurophysiol* 2006; 117: 1885-901.
- Micheloyannis S, Vourkas M, Bizas M, Simos P, Stam CJ. Changes in linear and nonlinear EEG measures as a function of task complexity. *Brain Topogr* 2003; 15: 239-47.
- Yang H, Wang Y, Wang CJ, Tai HM. Correlation dimensions of EEG changes during mental tasks. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004; 1: 616-9.
- Navascués MA, Sebastián MV. Fitting curves by fractal interpolation: an application to the quantification of cognitive brain processes. In Novak MM, ed. *Thinking in patterns: fractals and related phenomena in nature*. Singapore: World Scientific Publishers; 2004. p. 143-54.
- Sebastián MV, Navascués MA. A relation between fractal dimension and Fourier transform. *Electroencephalographic study using spectral and fractal parameters*. *Int J Comp Math* 2008; 85: 657-65.
- Navascués MA, Sebastián MV. Time domain indices and discrete power spectrum in electroencephalographic processing. *Int J Comp Math* 2009; 86: 1968-78.
- Navascués MA, Sebastián MV, Valdizán JR. Fractal and smooth complexities in electroencephalographic processing. *Journal of Applied & Computational Mathematics* 2015; 4: 1-6.
- Chuang CH, Ko LW, Jung TP, Lin CT. Kinesthesia in a sustained-attention driving task. *Neuroimage* 2014; 91: 187-202.
- Lal, SK, Craig A. A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biol Psychol* 2001; 55: 173-94.
- Astolfi L, Toppi J, Borghini G, Vecchiato G, Isabella R, De Vico Fallani F, et al. Study of the functional hyperconnectivity between couples of pilots during flight simulation: an EEG hyperscanning study. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2011; 2011: 2338-41.
- Dussault C, Jouanin JC, Philippe M, Guezennec CY. EEG and ECG changes during simulator operation reflect mental workload and vigilance. *Aviat Space Environ Med* 2005; 76: 344-51.
- Di Stasi LL, Diaz-Piedra C, Suárez J, McCamy MB, Martínez-Conde S, Roca-Dorda J, et al. Task complexity modulates pilot electroencephalographic activity during real flights. *Psychophysiology* 2015; 52: 951-6.
- Dussault C, Jouanin JC, Guezennec CY. EEG and ECG changes during selected flight sequences. *Aviat Space Environ Med* 2004; 75: 889-97.
- Borghini G, Astolfi L, Vecchiato G, Mattia D, Babiloni F. Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neurosci Biobehav Rev* 2014; 44: 58-75.
- Borghini G, Vecchiato G, Toppi J, Astolfi L, Maglione A, Isabella R, et al. Assessment of mental fatigue during car driving by using high resolution EEG activity and neurophysiologic indices. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2012; 2012: 6442-5.
- Sebastián MV, Navascués MA, Ruiz C, Iso JM, Arcos C, Arana V, et al. Medidas espectrales de la actividad electroencefalográfica durante tareas de simulación militar. *Actas del III Congreso Nacional de i+d en Defensa y Seguridad, DESEi+d 2015*. Zaragoza: Centro Universitario de la Defensa; 2015.
- Sebastián MV, Navascués MA, Ruiz C, Iso JM, Arcos C, Arana V, et al. Estudio electroencefalográfico de la atención durante la realización de tareas de simulación militar. *Actas del II Congreso Nacional de i+d en Defensa y Seguridad, DESEi+d 2014*. Zaragoza: Centro Universitario de la Defensa; 2014.

20. Navascués MA, Sebastián MV, Ruiz C, Iso JM. A numerical power spectrum for electroencephalographic processing. *Mathematical Methods in the Applied Sciences* 2016; 39: 4680-7.
21. Smith ME, Gevins A. Neurophysiologic monitoring of mental workload and fatigue during operation of a flight simulator. *Proceeding of SPIE* 2005. doi: 10.1117/12.602181.
22. Gómez-Pérez E, Ostrosky-Solís F, Próspero-García O. Desarrollo de la atención, la memoria y los procesos inhibitorios: relación temporal con la maduración de la estructura y función cerebral. *Rev Neurol* 2003; 37: 561-7.
23. Blakemore SJ. Is adolescence a sensitive period for sociocultural processing? *Ann Rev Psychol* 2014; 65: 187-207.
24. Estévez-González A, García-Sánchez C, Junqué C. La atención: una compleja función cerebral. *Rev Neurol* 1997; 25: 1989-97.

## A cortical study of the attention in military simulation tests

**Introduction.** Attention is one of the most widely studied superior cerebral functions and base of many other cognitive processes. It is sometimes understood as concentration on a task or target. The level of execution of a task and the ability to process information are dependent on the state of cerebral activation of the subject. This brain activity can be recorded with the electroencephalogram (EEG).

**Aim.** Attention is studied in states of rest and during the performance of tasks in military personnel, exploring the differences between two groups (cadets and officers/NCOs).

**Subject and methods.** EEG signals have been recorded from 19 cadets and 17 officers of the General Military Academy and from the General Hospital of the Defense during military simulation tasks and in states of rest. Our team uses its own methodology of the dynamic systems and fractal techniques for the modeling and quantification of the EEG signals, in this case for the computation of the fractal dimension of the record of each derivation. The data obtained are subjected to a statistical study.

**Results.** Higher cortical global mean values were observed in the officers group. The dimension increases in both groups by raising the difficulty of the task in all areas of the brain except in the frontal zone. They highlight the significant differences between groups in the simulation task of driving combat vehicle in the central, parietal and temporal areas.

**Conclusions.** The results obtained show that the two groups studied do not behave homogeneously in the same attention task that involves a video game.

**Key words.** Attention. Brain activity. Electroencephalogram. Fractal dimension. Military simulation. Quantification.