

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LOS POTENCIALES EVOCADOS

L. CARRETIÉ; J. IGLESIAS
Universidad Autónoma de Madrid

Resumen

En este trabajo se aborda la metodología que requiere tanto la extracción de los componentes que conforman los potenciales evocados (PEs) como el estudio del efecto de las variables independientes (VIs) sobre los componentes extraídos. La técnica de análisis empleada para acometer la primera de las tareas por un gran número de investigadores es la inspección visual de los *grandes promedios* (promediación de varios PEs individuales), a pesar de que su utilización sin la complementación de otras técnicas conlleva algunos problemas importantes. Se describe por ello el Análisis de Componentes Principales, procedimiento de extracción de componentes recomendado desde trabajos metodológicos y respaldado por diversos estudios experimentales. En cuanto al estudio del efecto de las VIs sobre los componentes extraídos, se realiza una serie de indicaciones sobre el tipo de análisis estadístico a utilizar y los parámetros que deben someterse a tal análisis.

Abstract

This work deals with the methodology which the extraction of the components composing event-related potentials (ERPs) and the study of the effect of the independent variables (IVs) on the extracted components require. The analysis technique used by many researchers for developing the first task is the inspection of grand averages (averages obtained from individual ERPs), in spite of its utilization without the complementation of other techniques bears some important problems. So that, Principal Component Analysis is described, since it is a component-extraction procedure recommended from many methodological works and supported by diverse experimental studies. About the study of the effect of the IVs on the extracted components, a series of indications relating to the kind of statistic analysis to use and the parameters to submit to such analysis are made.

Introducción

En un artículo previo damos cuenta pormenorizadamente de los aspectos técnicos y metodológicos que conlleva el registro de los potenciales evocados (PEs), aportando información que no se encuentra disponible fácilmente y cuyo conocimiento resulta de interés para acometer cualquier estudio sobre esta importante variable psicofisiológica (Carretié e Iglesias, 1990). Ahora bien, resulta obvio que el estudio de cualquier variable psicofisiológica requiere conocer no sólo la metodología de su registro, sino también la metodología del análisis de las señales obtenidas.

En el campo de los PEs, este aspecto es particularmente crítico, puesto que no existe un criterio dominante sobre las técnicas de análisis que deben lle-

varse a cabo para estudiar estas señales con suficientes garantías. Existen pocos trabajos centrados en la descripción de tales técnicas, y en cualquier caso sus recomendaciones ejercen poca influencia ya que, como se verá posteriormente, siguen utilizándose metodologías incorrectas. Este artículo pretende orientar al investigador interesado en el estudio de los PEs en el procedimiento de análisis que, partiendo de estudios metodológicos, de trabajos experimentales y de nuestra propia experiencia, hemos juzgado más conveniente. Así, se describirán en primer lugar las tareas que requiere el análisis de los PEs, abordándose posteriormente el procedimiento más adecuado para llevarlas a cabo (el Análisis de Componentes Principales) y realizándose finalmente una serie de consideraciones finales.

Tareas que requiere el análisis de los potenciales evocados

Los estudios empíricos sobre los PEs pretenden analizar el efecto de ciertos factores (estimulo presentado, tarea a desarrollar, etc.) sobre la topografía o configuración de esta señal psicofisiológica. Los PEs están constituidos por diversos componentes, cada uno de los cuales es una onda o conjunto de ondas producidas por una misma fuente neural (para profundizar más en este aspecto, consúltese, por ejemplo, Carretié, 1991; Donchin, Ritter y McCallum, 1978; Fabiani, Gratton, Karis y Donchin, 1987). Por tanto, la determinación del efecto de cualquier variable independiente (VI) sobre los PEs requiere dos tareas: en primer lugar, establecer qué componentes constituyen la topografía de los PEs obtenidos, tarea que hemos denominado *extracción de los componentes*, y en segundo lugar, estudiar el efecto de los diferentes niveles de la o las VIs sobre aquellos de los componentes extraídos que nos interese estudiar, labor aquí denominada *estudio de los componentes*.

Extracción de los componentes

El primer objetivo en cualquier estudio sobre PEs es determinar su configuración o topografía general, o, lo que es lo mismo, determinar qué componentes los constituyen. Algunas conclusiones generales sobre la topografía de los PEs pueden establecerse a partir de la *inspección visual* de los *grandes promedios*, o promedios de diversos PEs individuales, es decir, de diversos sujetos. Dicha técnica consiste en determinar qué componentes configuran un PE a partir de la topografía de tales grandes promedios por medio de su análisis visual y/o de análisis matemáticos sencillos.

En la figura 1 se muestran tres de los grandes promedios obtenidos en el trabajo de Carretié (1991), en el que se estudiaba el efecto de diversas expresiones faciales de emociones sobre los PEs de 32 sujetos. Dicho estudio servirá de ejemplo en varios momentos de este trabajo. Los grandes promedios que muestra la figura corresponden a la promediación de los 128 PEs (32 sujetos \times 4 expresiones faciales) obtenidos en cada uno de los tres emplazamientos de electrodos utilizados: Fz, Cz y Pz. De ellos puede obtenerse información interesante de tipo muy general. En este caso, reflejan una diferencia importante en lo que se refiere a la amplitud total de los PEs a lo largo de todo el período de registro (1.070 ms). Así, en Fz y Cz se ha producido una amplitud pico a pico superior a la obtenida en Pz, lo que puede indicar que los estímulos presentados han provocado una actividad mayor en zonas frontales medias y posteriores que en zonas parietales. A partir de los grandes promedios, un gran número de investigadores extraen incluso componentes concretos, partiendo del supuesto de que cada una

de las ondas que se aprecian constituye un componente.

Ahora bien, ¿es correcto determinar a partir de la inspección visual de los grandes promedios el número y las características de los componentes que aparecen en un determinado PE? Como se ha adelantado, muchos investigadores se basan únicamente en dicha técnica, pero esto no justifica que sea el procedimiento correcto. En realidad, los grandes promedios enmascaran algunos componentes, por lo que mediante la inspección visual generalmente se extraen menos de los que realmente existen. Un método más idóneo para realizar esta labor es la aplicación de una técnica estadística conocida como *Análisis de Componentes Principales* (ACP), que explicaremos más adelante. De momento, se pide tan sólo al lector que extraiga, por inspección visual, los componentes que se presentan en el gran promedio correspondiente al emplazamiento Cz (Fig. 1) y los compare con los ilustrados en la figura 4, obtenidos mediante un ACP.

Estudio de los componentes extraídos

El siguiente objetivo en los experimentos sobre esta señal psicofisiológica es determinar el efecto de la o las VIs sobre aquellos de los componentes extraídos que nos interese estudiar. Los principales parámetros que suelen analizarse a la hora de estudiar los componentes de los PEs son su amplitud y su latencia. Dicho estudio debe realizarse a partir de los PEs individuales, es decir, a partir de los valores de amplitud y/o latencia de los componentes que configuran el PE de cada sujeto y ante cada condición (véase la tabla 1). La tabla representa el diseño más frecuente a la hora de estudiar PEs, el intrasujeto. En otras palabras, todos los sujetos se someten a todos los niveles de la VI. Los valores del parámetro elegido se someten posteriormente a análisis estadísticos, normalmente a análisis de varianza para medidas repetidas.

En Psicofisiología se han llevado a cabo indistintamente dos formas de abordar los análisis de varian-

TABLA 1

Sujetos	Niveles VI				
	A	B	C	...	X
1	P _{1A}	P _{1B}	P _{1C}		P _{1X}
2	P _{2A}	P _{2B}	P _{2C}		P _{2X}
3	P _{3A}	P _{3B}	P _{3C}		P _{3X}
.
.
N	P _{NA}	P _{NB}	P _{NC}		P _{NX}

El estudio de cada uno de los componentes extraídos se realiza a partir de los valores que cada componente individual alcanza en el parámetro elegido, normalmente *amplitud* o *latencia*. Las comparaciones entre tales valores en función de los niveles de la VI deben realizarse mediante análisis estadísticos (P = parámetro).

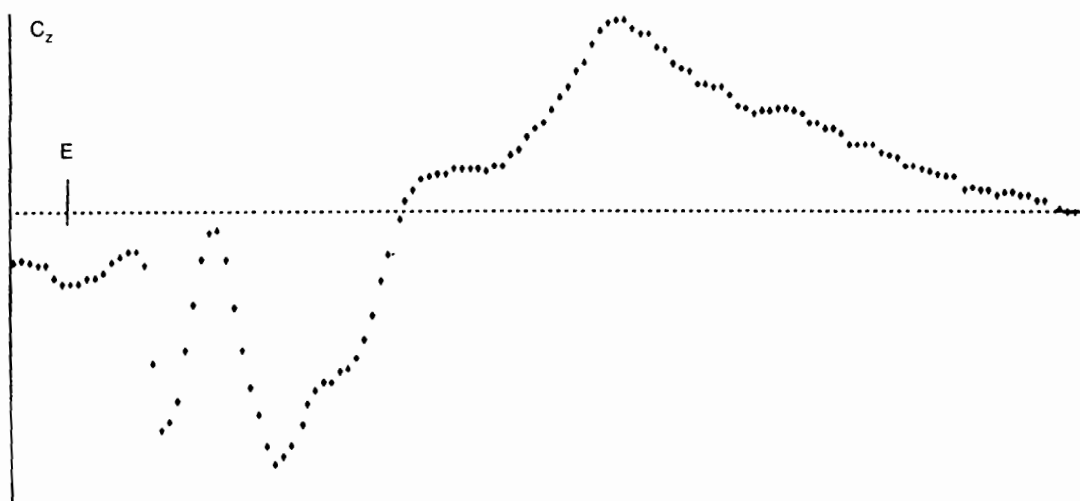
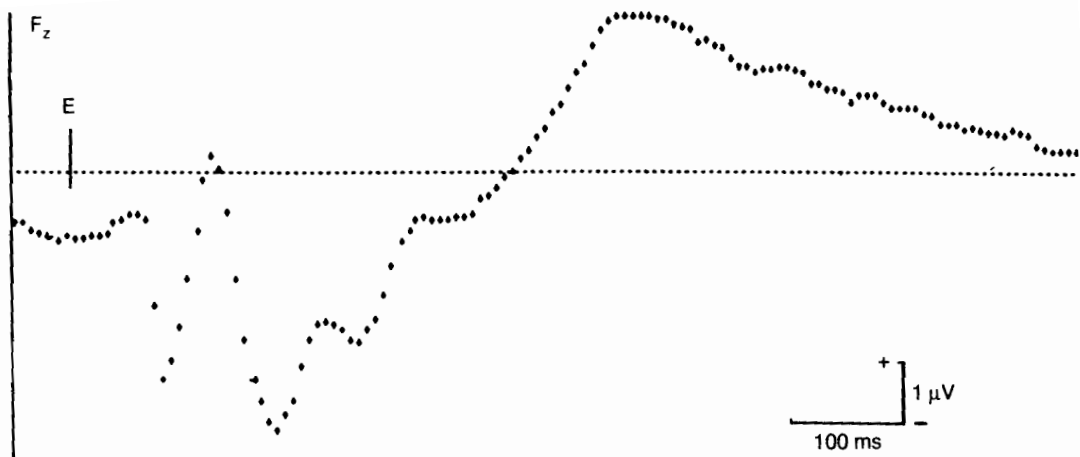


Figura 1. Grandes promedios obtenidos a partir de todos los PEs obtenidos en cada uno de los tres emplazamientos del cuero cabelludo (F_z , C_z y P_z) estudiados en el trabajo de Carretié (1991).

za de medidas repetidas: la aproximación multivariada (procedimiento MANOVA), que crea nuevas variables dependientes o variables transformadas, y la univariada (procedimiento ANOVA) (Jennings, Cohen, Ruchkin y Fridlund, 1987). La aproximación univariada requiere ciertas asunciones sobre la matriz de varianzas-covarianzas. Si estas condiciones se cumplen, especialmente con muestras pequeñas, la aproximación univariada es más válida que la multivariada. Esto es, es más apropiada para detectar diferencias cuando éstas existen.

La asunción o supuesto que requiere fundamentalmente la opción univariada es la de esfericidad (las varianzas de todas las variables transformadas son iguales y las covarianzas son igual a cero). La violación de este supuesto, que puede contrastarse con pruebas como la de Mauchly (SPSS inc., 1988), obliga a una corrección de los grados de libertad de F. Los correctores más utilizados son los epsilon (ϵ) de Greenhouse-Geisser y de Huynh-Feldt. La aproximación multivariada, que es más conservadora, suele utilizarse para obviar la comprobación de su-

puestos que necesita el análisis univariado, puesto que cuando las diferencias son significativas en un MANOVA, también lo son en un ANOVA corregido. El principal inconveniente es que el MANOVA puede cometer errores tipo II (no se detectan diferencias que realmente existen).

La amplitud y la latencia de los componentes, que como se ha indicado son los parámetros que más frecuentemente se utilizan como variables dependientes en los análisis de varianza, pueden determinarse mediante la medición del *pico* del componente o mediante la medición del *área*, como señalan Colles, Gratton, Kramer y Miller (1986). Como estos autores indican, la primera de estas mediciones es factible cuando el componente en cuestión es lo suficientemente rápido como para presentar un único y definido pico, ya sea positivo o negativo (Fig. 2a). Éste no es el caso de los PEs, en los que suele ser difícil establecer el pico en muchos de los componentes. En estos casos (al igual que sucede con otras señales psicofisiológicas, como nivel de conductancia de la piel), se recurre a la medición del

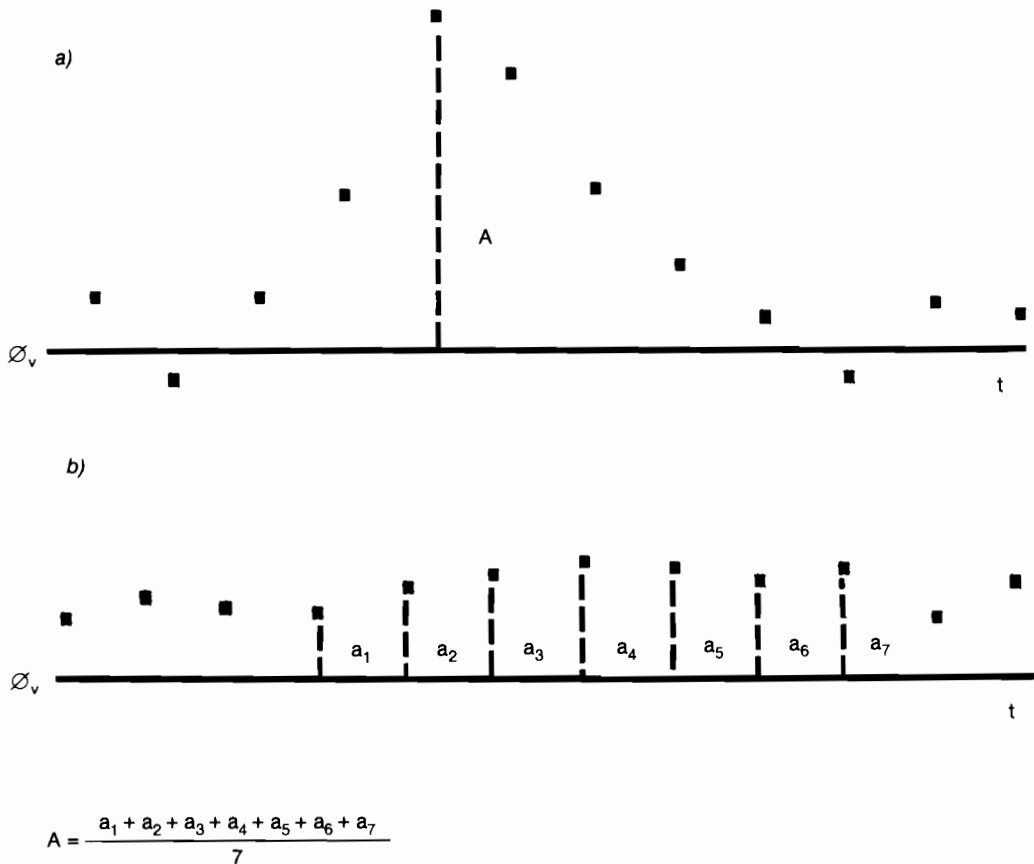


Figura 2. Procedimientos de medida de la amplitud de un componente en función de su topografía: a) medición del *pico*, y b) medición del *área*.

área, esto es, no se estudia únicamente la amplitud de un punto dentro de un intervalo sino la de todos los puntos que ese intervalo comprende. El procedimiento usual es hallar la amplitud-promedio de dichos puntos (Fig. 2b), aunque también puede realizarse sencillamente una suma de las amplitudes. A diferencia de la medición del pico, la del área no aporta información precisa sobre la latencia del componente, ya que se puede determinar la latencia de un punto concreto, pero no de un promedio de puntos.

La técnica de medición de las amplitudes que muestra la figura 2, tanto para el pico como para el área, es la técnica tradicional, utilizada originalmente en Física para la medición de la amplitud de ondas regulares. Consiste en medir la distancia desde la línea de referencia al punto en cuestión. Esta línea de referencia puede ser la línea isovoltáica (línea de 0 voltios) o la línea-base. Existen varios procedimientos para establecer la línea-base en los estudios sobre PEs. Uno de ellos es realizar un registro previo a la presentación de cada estímulo y tomar su valor-promedio de voltaje como línea-base. Otro procedimiento, recomendado por Donchin y Heffley (1978), es la utilización del *midmean* como línea-base. Consiste en eliminar los datos de los cuartiles superior e inferior de cada PE y computar una media aritmética de los valores restantes.

En Psicofisiología, entre otras áreas de estudio, se recurre en ocasiones a la amplitud *pico a pico*, útil para las señales que poseen una topografía irregular. Esta amplitud se calcula midiendo la distancia desde un pico de polaridad negativa hasta otro de polaridad positiva. En el estudio de los componentes de los PEs la amplitud pico a pico suele utilizarse para los más tempranos, ya que en latencias cortas es usual observar una alternancia de picos positivos y negativos, y la amplitud de cada componente se mide con referencia al anterior (por ejemplo, ampli-

tud N100-P150). No obstante, los componentes más tardíos (los posteriores al P300) no suelen presentar tal alternancia, sino que se muestran a menudo como una sucesión de ondas de igual polaridad. En este caso, la medición pico a pico de la amplitud no es posible. Cuando se estudian componentes tanto tempranos como tardíos, como en el caso del estudio empírico que sirve de ejemplo en este trabajo, conviene seguir un criterio único, por lo que es más recomendable la medición de la amplitud respecto a la línea de referencia ya que es aplicable a cualquier componente.

El principal problema que se plantea en este punto es determinar el intervalo en el que el pico debe estar comprendido o en el que realizar la medición del área. Es decir, el problema estriba en determinar desde y hasta qué momento en el tiempo se considera que un punto determinado del registro pertenece a un componente y no a otro. Muchos investigadores establecen el intervalo temporal a partir de la inspección visual de los grandes promedios, e incluso a partir de criterios teóricos exclusivamente. Entre otros ejemplos, podemos citar a este respecto el reciente estudio de McCallum, Barrett y Pocock (1989), donde se establece, a priori, que N1 es el pico más negativo en cada PE en el intervalo que va del milisegundo (ms) 60 al 150 y N2 el más negativo entre los 150 y 300 ms.

El inconveniente de esta metodología es que no contempla el hecho de que un mismo componente puede presentarse con latencias diferentes de un sujeto a otro y de una condición experimental a otra, ya que debemos recordar que un componente es una onda o conjunto de ondas producidas por una misma estructura neural, y ésta puede activarse con diferentes latencias intra e interindividualmente. Es decir, los componentes se *designan* en muchas ocasiones en relación con su latencia, pero se *definen* en base a su origen neural. Así, y siguiendo con el

Amplitud positiva máxima = 6,630348 microvoltios.
 Amplitud negativa máxima = - 4,009048 microvoltios.
 Longitud potencial = 1.050 ms (50 ms son previos a la aparición del E).

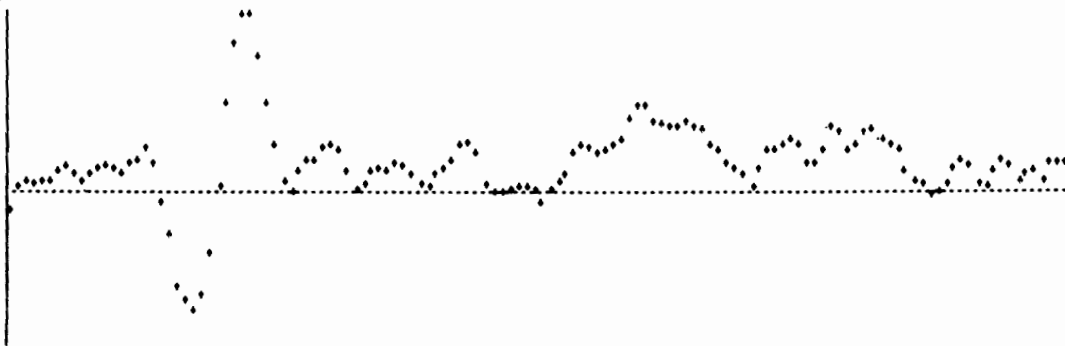


Figura 3. PE individual (de un solo sujeto ante una sola condición experimental) registrado en Pz (PE individual) en el estudio de Carretié (1991). Muchas de sus abundantes ondas son difíciles de asignar a los componentes que se extraen mediante la inspección visual de los grandes promedios.

ejemplo de McCallum y cols. (1989), una onda negativa de 150 ms de latencia podría corresponder en un sujeto al componente N1 y en otro al componente N2. Algo parecido podría ocurrir en un mismo sujeto en dos condiciones experimentales diferentes.

En realidad, éste es un problema que puede presentarse muy a menudo puesto que los PEs individuales presentan una gran sucesión de picos, muchos de los cuales son difícilmente identificables con un componente concreto. La figura 3 muestra uno de los PEs individuales obtenidos en el estudio de Carretié (1991), en el que puede observarse un gran número de ondas no fácilmente clasificables dentro de los componentes que refleja un gran promedio (véase la Fig. 1). También en este caso la solución al problema se encuentra en el ACP, como veremos a continuación.

Análisis de componentes principales

Consideraciones previas

La idoneidad del método del ACP para analizar los PEs ha sido defendida en la mayoría de los trabajos que se han centrado en las metodologías de análisis de dichas señales (Martin, Borg-Breen y Buffington, 1979; Coles y cols., 1986; Donchin y Heffley, 1978; Fabiani y cols., 1987; McGuillem y Aunon, 1986; Roy-John, Ruchkin y Vidal, 1978), y de hecho se comenzó a aplicar prácticamente desde los inicios del propio registro de los PEs (Donchin, 1966; John, Ruchkin y Villegas, 1964; Ruchkin, Villegas y John, 1964), habiendo sido utilizada desde entonces por muchos autores. No obstante, por economía de tiempo y esfuerzo, el método de inspección de los grandes promedios sigue también utilizándose con frecuencia sin ser complementado con otras técnicas. Fundamentar el análisis de los PEs en la inspección visual exclusivamente puede llevar, como se ha visto, a interpretar incorrectamente los resultados tanto en lo que se refiere a la estructura de componentes como al establecimiento del intervalo temporal en que cada componente se produce.

El ACP permite la extracción de los factores o componentes que subyacen al conjunto de puntuaciones que conforman un determinado número de variables. Esta labor es realizada a partir de las correlaciones o de las covarianzas entre tales variables. Supongamos, por ejemplo, que realizamos un ACP con las medidas de cien sujetos humanos en cuatro variables: tono de la voz, relación entre la cintura escapular (anchura de hombros) y la cintura pelviana, peso y estatura. Se trata, por tanto, de un análisis de cuatro variables con cien casos cada una. Puesto que los principales factores que hacen covariar o correlacionarse las puntuaciones de los sujetos en esas variables son la edad y el sexo, el ACP extraerá dos componentes en los que se concentrará la mayor parte de la varianza. Aquel de los dos componentes en el que la variable *estatura* ejer-

za un mayor peso podrá identificarse con la edad, mientras que aquel en el que el mayor peso sea ejercido por la variable *relación entre las cinturas escapular y pelviana* corresponderá al sexo.

La técnica del ACP fue descrita por primera vez por Pearson (1901), aunque no llegó a proponer un método práctico de cálculo para más de dos o tres variables. El ACP, tal como lo conocemos hoy día, fue descrito por Hotelling (1933), aunque los cálculos, que debían realizarse a mano, resultaban tediosos si el número de variables era elevado. El avance de la informática y la consiguiente elaboración de paquetes estadísticos, como el SPSS (Nie, Hull, Jenkins, Steinbrenner y Bent, 1975) y el BMD (Dixon, 1975), facilitó la aplicación del ACP a un mayor número de variables.

Este procedimiento se describe con exhaustividad en diversos trabajos (véanse, por ejemplo, Green, 1978; Jolliffe, 1986; Manly, 1986; McGuillem y Aunon, 1987). En el caso de los PEs, las variables sobre las que se realiza el ACP son los puntos digitalizados que lo componen, y los casos son los sujetos. El número total de variables o puntos que pueden analizarse no siempre puede ser igual al total de puntos que componen cada PE, total que debe reducirse en mayor o menor medida dependiendo de factores como la capacidad de cálculo del programa y la capacidad de memoria del ordenador. Así, pueden promediarse pares o tríos de puntos adyacentes para reducir el número de variables a la mitad o a la tercera parte, o eliminarse zonas del registro con escasa importancia (por ejemplo, en algunos casos, el registro previo a la aparición del estímulo). Los factores se denominan en función de la latencia del punto o variable que más peso ejerce en ellos. Por ejemplo, si en el factor I el punto registrado a los 300 ms ejerce un peso máximo, ese factor podrá denominarse P300.

Fases del Análisis de Componentes Principales

El primer paso en un ACP es realizar una matriz de correlaciones, de covarianzas o de productos cruzados a partir de las puntuaciones obtenidas por todos los sujetos en cada variable. Así, la primera variable estará constituida por las amplitudes que presentan todos los sujetos en el primer punto muestreado, la segunda por las del segundo punto muestreado, y así sucesivamente hasta el punto P. Por tanto, cualquiera de las tres matrices será $P \times P$. Como veremos más adelante, el tipo de matriz elegida ejerce cierta influencia sobre los resultados que se obtienen en el ACP.

El paso siguiente es el cálculo de los componentes o factores y sus respectivos pesos o *eigenvalores* sobre la varianza total, mediante manipulación de la matriz de partida. Dichos factores son ortogonales, esto es, independientes, y en un primer momento se obtienen tantos como variables se analizan. La ordenación de los factores tiene importancia en el ACP, puesto que se efectúa según un orden

decreciente en cuanto a su *eigenvalor* y, por tanto, en los primeros factores se concentra la mayor parte de explicación de varianza.

El tercer paso es seleccionar aquellos componentes que sean realmente «principales», esto es, que expliquen la mayor parte de la varianza total. Son muy diversos los criterios que se utilizan para establecer qué componentes se utilizarán y cuáles se rechazarán. En algunos casos se admiten aquellos factores que expliquen, de manera individual, por encima de un determinado porcentaje de varianza (por ejemplo, un 1 por 100). En otros, se admiten todos los componentes que, sumados, expliquen por encima de un determinado porcentaje de varianza (por ejemplo, un 90 por 100). Por último, otro criterio consiste en seleccionar un número de componentes preestablecido, independientemente de la cantidad de varianza que expliquen. Como hemos adelantado, el tipo de matriz inicial elegida influye en la cantidad y peso de los componentes que se extraigan, por lo que debe darse a conocer en los trabajos. En general, para explicar la misma cantidad de varianza total, partiendo de una matriz de correlaciones, debe seleccionarse un número mayor de factores que partiendo de una matriz de covarianzas.

Este último es un tema sobre el que debería realizarse alguna aclaración. Obviamente, los PEs poseen una estructura de componentes que es completamente independiente de la técnica utilizada para extraerlos. Por ello, se podría pensar que si para explicar, por ejemplo, un 90 por 100 de la varianza, debemos extraer ocho componentes de un ACP que parte de correlaciones y sólo seis de otro que parte de covarianzas, o bien el primero extrae componentes inexistentes realmente en el PE, o bien el último no es lo suficientemente sensible como para asignar pesos significativos a componentes que realmente se producen (o ambas cosas). En realidad, lo que ocurre es que el ACP que parte de correlaciones tiende a «repartir» más el peso de la variabilidad entre los componentes, mientras que el que parte de covarianzas lo «concentra» en los primeros. Por ello, lo que puede llevar a errores en la extracción no es la elección del tipo de ACP a utilizar, sino la del criterio de selección de componentes. El único criterio que puede ser común a ambos ACPs es el de preestablecer un número determinado de componentes a seleccionar. Los criterios basados en el peso de los componentes sobre la varianza total deben modificarse elevando los umbrales para el caso del ACP que parte de covarianzas.

En el cuarto y último paso se determinan las cargas de cada variable o punto en cada uno de los componentes seleccionados, es decir, se establece qué puntos del registro corresponden predominantemente a cada componente. Opcionalmente, se puede realizar una rotación de la matriz de cargas obtenida con el fin de simplificarla y permitir una mejor localización de los factores. Aunque no es el único procedimiento, la rotación *varimax* es la más utilizada para datos psicofisiológicos. Este procedimiento maximiza la asociación entre cada componente y unas pocas variables y minimiza su asociación

con todas las demás. Con ello se enfatiza el pico del factor, siendo así más claramente localizable. Siguiendo con el estudio de Carretié (1991), la figura 4 representa las cargas de los puntos en cada uno de los componentes extraídos a partir de los registros en Cz, una vez realizada la rotación *varimax*.

Conclusiones y consideraciones finales

En conclusión, y como puede apreciarse en la figura 4, el ACP posibilita la determinación de los componentes que configuran un PE y también de los intervalos temporales que abarca cada componente. No obstante, también el ACP está sujeto a ciertas críticas (Wood y McCarthy, 1984; Möcks y Verleger, 1985). Como puede apreciarse en dicha figura, no proporciona información sobre la amplitud real, en microvoltios, de los componentes, ni sobre su polaridad. Otra crítica consiste en que puede considerar la latencia variable de algún componente como componentes diferentes (aunque dicha variabilidad debe ser muy elevada para que ello ocurra). Por ello, a pesar de ser considerado el método más fiable y válido para el análisis de los PEs, debe ser complementado con otros procedimientos de análisis (Guthrie, 1990).

La metodología que se propone desde este trabajo para la primera de las tareas comentadas, la *extracción de los componentes*, comenzaría con una primera inspección visual de los grandes promedios, técnica que nos permite determinar el intervalo temporal que debe analizarse mediante un ACP. La posterior aplicación de esta técnica matemática de análisis es para nosotros fundamental, aunque sus resultados deben ser complementados de nuevo con la inspección visual de los grandes promedios, con el fin de determinar las polaridades de los componentes extraídos.

En cuanto al *estudio de los componentes*, este trabajo propone, como ya se ha adelantado, realizar ANOVAs sobre las puntuaciones reales en amplitud y/o latencia de los componentes de cada PE individual (tabla 1). El intervalo temporal en el que cada componente debe ser estudiado en cuanto al pico o en cuanto al área se establecería a partir de las cargas de los puntos en dicho componente. Así, en el estudio de Carretié (1991), que nos ha servido como ejemplo a lo largo de este trabajo, los intervalos analizados estaban formados por todos aquellos puntos que superaban un 0,5 de carga en cada componente (la carga se representa en el eje de ordenadas en la figura 4), y los valores sometidos a los ANOVAs fueron las amplitudes reales de dichos puntos.

Este procedimiento ha sido también utilizado por otros investigadores (véase, por ejemplo, Kok, Looren de Jong, Woestenburg, Logman y Van Rooy, 1987), aunque la inmensa mayoría de los autores que utilizan el ACP en sus análisis someten las puntuaciones de componente (provenientes de los cargos) a los ANOVAs, y no sus *amplitudes* o *latencias*

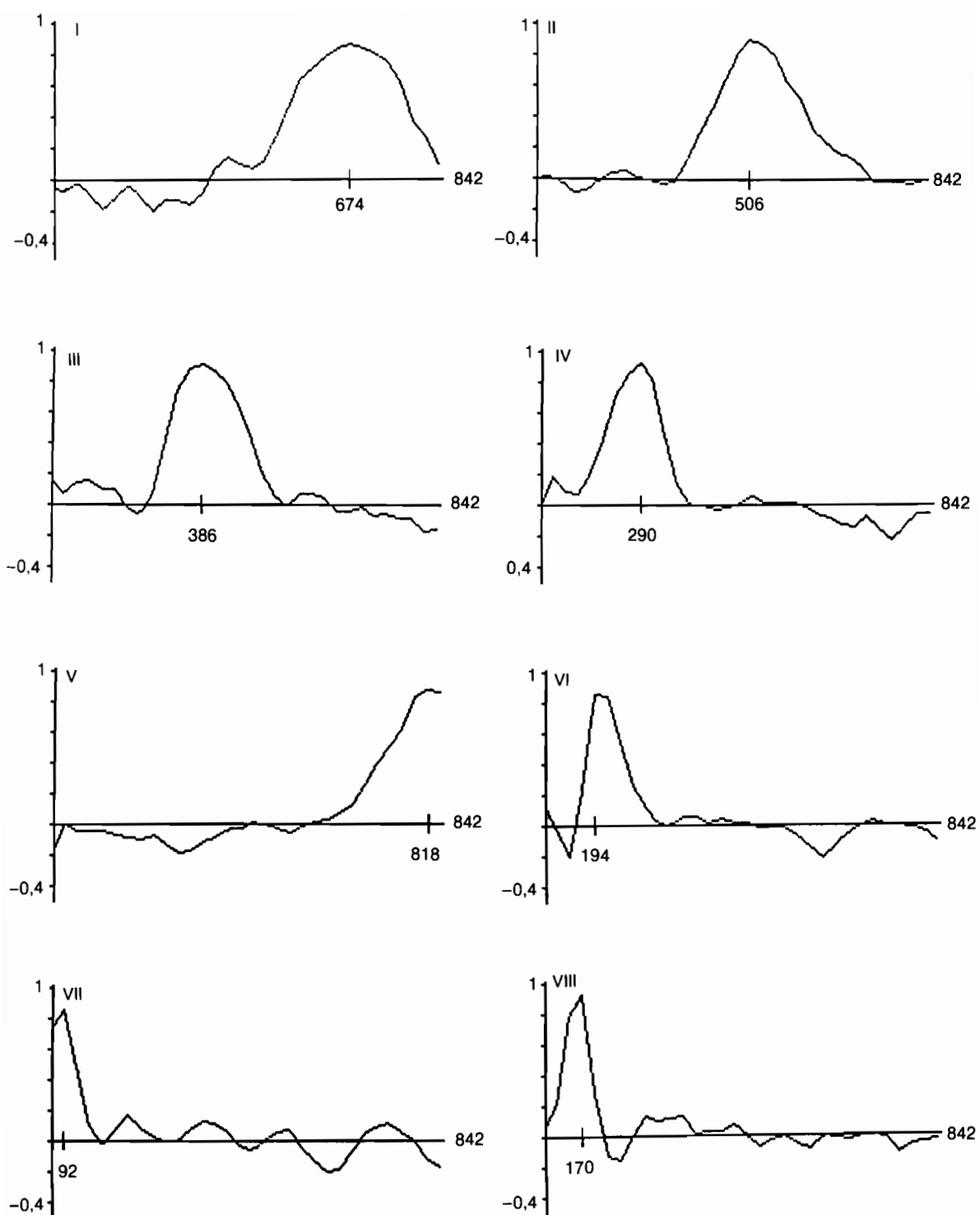


Figura 4. Componentes extraídos por un ACP en el estudio de Carretié (1991) a partir de los registros en Cz. La matriz de cargas fue sometida a una rotación Varimax, que enfatiza el pico de los componentes extraídos. Los puntos, y por tanto el tiempo (en milisegundos), aparecen representados en abscisas, y las cargas de cada uno de esos puntos en el componente, en ordenadas.

reales. La utilización de las puntuaciones de componente en los ANOVAs tiende a exagerar la significación estadística de los efectos reales del tratamiento (Wastell, 1981; Wood y McCarthy, 1984). En conclusión, y pese a las críticas a que ha sido sometido el ACP por parte de algunos autores, se trata de la técnica más fiable y válida para el análisis de los PEs, y muchos de sus inconvenientes quedan atenuados e incluso desaparecen si se complementa con la inspección visual y si lo que se somete a los ANOVAs son las puntuaciones reales en amplitud o latencia en vez de las puntuaciones de componente.

Nota: Queremos agradecer la financiación recibida para el desarrollo de este trabajo de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica (DGICYT PB86-0116) y de la Caja de Madrid.

Referencias

- Carretié, L. (1991). *Potenciales evocados cerebrales ante expresiones faciales de emociones*. Madrid: Ediciones de la Universidad Autónoma. (Tesis Doctoral editada en microfichas.)
- Carretié, L. e Iglesias, J. (1990). Guía para el registro psicofisiológico de los potenciales evocados. *Evaluación Psicológica*, 6, 91-115.
- Coles, M. G. H., Gratton, G., Kramer, A. F. y Miller, G. A. (1986). Principles of signal acquisition and analysis. En M. G. H. Coles, E. Donchin y S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, Processes and Applications* (pp. 183-221). Amsterdam: Elsevier.
- Dixon, W. J. (1975). *BMD: Biomedical Computer Programs*. Los Angeles: University of California Press.
- Donchin, E. (1966). A multivariate approach to the analysis of average evoked potentials. *IEE Trans. Biomedical Engineering*, BME-13, 131-139.
- Donchin, E. y Heffley, E. F. (1978). Multivariate analysis of event-related potential data: A tutorial review. En D. Otto (Ed.), *Multidisciplinary Perspectives in Event-related Brain Potential Research* (pp. 555-572). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- Donchin, E., Ritter, W. y McCallum, W. C. (1978). Cognitive psychophysiology: The endogenous components of the ERP. En E. Callaway, P. Tueting y S. H. Koslow (Eds.), *Event-related Brain Potentials in Man* (pp. 339-442). Londres: Academic.
- Fabiani, M., Gratton, G., Karis, D. y Donchin, E. (1987). Definition, identification, and reliability of measurement of the P300 component of the event-related brain potential. En P. K. Ackles, J. R. Jennings y M. G. H. Coles (Eds.), *Advances in Psychophysiology* (Vol. 2, pp. 1-78). Londres: JAI Press.
- Green, P. E. (1978). *Analyzing Multivariate Data*. Hinsdale: Dryden.
- Guthrie, D. (1990). Intergroup and intrasubject principal component analysis of event-related potentials. *Psychophysiology*, 27, 111-119.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24, 417-441, 498-520. Citado en B. F. J. Manly (1986), *Multivariate Statistical Methods: A primer*. Londres: Chapman and Hall.
- Jennings, J. R., Cohen, M. J., Ruchkin, D. S. y Fridlund, A. J. (1987). Editorial policy on analyses of variance with repeated measures. *Psychophysiology*, 24, 474-478.
- John, E. R., Ruchkin, D. S. y Vidal, J. J. (1978). Measurement of event-related potentials. En E. Callaway, P. Tueting y S. H. Koslow (Eds.), *Event-related Brain Potentials in Man* (pp. 93-137). Londres: Academic.
- John, E. R., Ruchkin, D. S. y Villegas, J. (1964). Signal analysis and behavioral correlates of evoked potential configurations in cats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 112, 362-420.
- Jolliffe, I. T. (1986). *Principal Component Analysis*. Berlin: Springer Verlag.
- Kok, A., De Jong, H. L., Woestenburg, J. C., Logman, C. J. C. M. y Van Rooy, J. C. G. M. (1987). Learning where to look: Electrophysiology and behavioral indices of visual search in young and old subjects. En R. Johnson, Jr., J. W. Rohrbaugh y R. Parasuraman (Eds.), *Current Trends in Event-related Potential Research* (EEG Suppl. 40, pp. 204-210). Amsterdam: Elsevier.
- Manly, B. F. J. (1986). *Multivariate Statistical Methods: A primer*. Londres: Chapman and Hall.
- Martin, D. C., Borg-Breen, D. y Buffington, V. (1979). Basis functions in the analysis of evoked potentials. En H. Beigleiter (Ed.), *Evoked Brain Potentials and Behavior* (pp. 545-561). New York: Plenum.
- McCallum, W. C., Barrett, K. y Pocock, P. V. (1989). Late components of auditory event-related potentials to eight equiprobable stimuli in a target detection task. *Psychophysiology*, 26, 683-694.
- McGillem, C. D. y Aunon, J. I. (1987). Analysis of event-related potentials. En A. S. Gevins y A. Rémond (Eds.), *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* (Vol. 1, pp. 131-171). Amsterdam: Elsevier.
- Möcks, J. y Verleger, R. (1965). Nuisance sources of variance in principal component analysis of event-related potentials. *Psychophysiology*, 22, 674-688.
- Nie, N., Hull, C., Jenkins, J., Steinbrenner, K. y Bent D. (1975). *SPSS: Statistical Package for the Social Sciences*. New York: McGraw Hill.
- Pearson, K. (1901). On lines and planes of closest fit to a system of points in space. *Philosophical Magazine*, 2, 557-572. Citado B. F. J. Manly (1986), *Multivariate Statistical Methods: A Primer*. Londres: Chapman and Hall.
- Ruchkin, D. S., Villegas, J. y John, E. R. (1964). An analysis of average evoked potentials making use of least mean square techniques. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 15, 799-826.
- SPSS inc. (1988). *SPSS/PC + V 2.0*. Chicago, IL: El autor.
- Wastell, D. G. (1979). The application of low-pass linear filters to evoked potential data: filtering without phase distortion. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 46, 355-356.
- Wood, C. C. y McCarthy, G. (1984). Principal component analysis of event-related potentials: simulation studies demonstrate misallocation of variance across components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59, 249-260.