

DETECCION Y ANALISIS DEL COMPONENTE ENDOGENO CNV.

Tesis Doctoral presentada por:
Jaume Turbany i Oset

Directores: Dr. Jaume Arnau i Gras
Dr. Ramon Ferrer i Puig

Dpto. Metodologia de les Ciències del Comportament
Facultat de Psicologia
Universitat de Barcelona

Barcelona, 1992.

A les meves dones, la Montserrat per al constant suport que m'ha proporcionat, i la Júlia perquè crec que va portar aquesta tesi sota el braç al néixer.

INDICE

INTRODUCCION	6
CAPITULO 1	
ASPECTOS GENERALES DE LAS ONDAS CORTICALES LENTAS.	
1.1. INTRODUCCION	11
1.2. EJEMPLARES EN LA INVESTIGACION DE POTENCIALES DC ..	18
1.2.1. Onda negativa lenta (SNW) y orientación	18
1.2.2. Potenciales de procesamiento y experimentos de tareas de recuerdo	20
1.2.3. Movimiento voluntario y potencial de preparación (RP)	22
1.2.4. Fluctuaciones espontáneas de los potenciales corticales lentos	25
1.2.5. Variación Negativa Contingente	26
1.2.6. Aprendizaje del auto-control de los potenciales lentos corticales	27
1.2.7. Secuencialidad de las ondas RP y CNV	29
CAPITULO 2	
EJEMPLAR PROPIO DE LA INVESTIGACION DE LA CNV.	
2.1. DESCRIPCION DEL FENOMENO	31
2.1.1. Morfología	34
2.1.2. Topografía	35
2.2. ¿CUANTOS PROCESOS SEPARADOS CONSTITUYEN LA CNV? ...	36
2.2.1. Utilización de largos intervalos inter- estimulares (ISI's)	36
2.2.2. Lateralización y otras variaciones distribucionales de la CNV	40
2.3. RELACION CON EL CONDICIONAMIENTO CLASICO	43
2.3.1. Modelo de WALTER (1.964)	43

2.3.1.1. CNV y la Probabilidad del Estímulo	
Imperativo (IF --> DO)	45
2.3.1.2. CNV y Estimación del Tiempo	
(WHEN --> DO)	46
2.3.2. Modelo de Howard, Fenton y Fenwick (1.980) ...	47
2.4. CNV Y PREPARACION DE LA RESPUESTA MOTORA	50
2.5. CNV Y ATENCION/DISTRACCION	53
2.6. CNV Y MOTIVACION - FEEDBACK	63

CAPITULO 3

DETECCION Y ANALISIS DE LA CNV.

3.1. REGISTRO DE LA SEÑAL	68
3.1.1. ELECTRODOS	68
3.1.2. AMPLIFICADOR	73
3.1.2.1. Filtros Analógicos	74
3.1.2.2. Amplificadores tipo DC	76
3.1.2.3. Amplificadores tipo AC	77
3.1.2.4. Utilización de Amplificadores tipo AC en el registro de señales DC	79
3.1.3. EXTRACCION DE LOS VALORES NUMERICOS	81
3.1.4. ARTEFACTOS	82
3.1.4.1. Potenciales electrodérmicos	83
3.1.4.2. Potenciales de actividad muscular	84
3.1.4.3. Movimientos oculares	84
3.2. MEDICION DE LA SEÑAL	94
3.2.1. ESTIMACION DE LA SEÑAL	95
3.2.1.1. Técnicas de Promediado	97
3.2.1.2. Técnicas de Suavizado	106
3.2.1.3. Otras Técnicas de Filtrado	108
3.2.2. DESCOMPOSICION DE LA SEÑAL	109
3.2.3. ESTADARIZACION DE INDICADORES EN LA CNV	113

CAPITULO 4

TECNICAS DE SUAVIZADO.

4.1. INTRODUCCION	116
4.2. ALISADORES DE MEDIAS MOVILES	120
4.3. ALISADORES DE MEDIANAS MOVILES	122

4.3.1. MEDIANAS MOVILES DE AMPLITUD IMPAR	123
4.3.2. MEDIANAS MOVILES DE AMPLITUD PAR	127
4.3.3. ALISADO DE EXTREMOS	130
4.3.4. ITERACION DEL FILTRADO (RESMOOTHING)	130
4.3.5. ALISADO DEL RESIDUO (REROUGHING)	130
4.3.6. PROCESO DE CORTADO (SPLITTING)	131
4.3.7. COMBINACION DE ALISADORES	131
4.3.8. MEDIANAS MOVILES PONDERADAS	135
4.3.9. ANALISIS DE LOS RESIDUALES	136
4.4. REGRESION LOWESS	138

CAPITULO 5

APLICACION DE LAS TECNICAS DE SUAVIZADO EN LOS SCPs.

5.1. INTRODUCCION	143
5.2. REGISTROS CNV	144
5.3. REGISTROS RP	155

CAPITULO 6

CONCLUSIONES	160
---------------------------	------------

APENDICE: UNA PEQUEÑA SIMULACION	172
---	------------

BIBLIOGRAFIA	195
---------------------------	------------

INTRODUCCION

La presente tesis doctoral es fruto del curso de doctorado iniciado el año 1986, **Neurociencia Cognitiva y diferencias individuales**, impulsado de forma conjunta por tres Departamentos (Metodologia de les Ciències del Comportament, Psiquiatria i Psicobiologia Clínica y Personalitat, Avaluació i Tractament Psicològic) de la Facultad de Psicología (U.B.).

El interés generado por el mencionado curso hacia la temática de los Potenciales Relacionados con el Evento, junto con el impulso dado por el Dr. Jaume Arnau i Gras, en el Departamento de Metodologia C.C. a una línea de investigación centrada en las posibles aportaciones metodológicas a realizar en el estudio de estos fenómenos bioeléctricos cerebrales, ha creado una especie de "generación", dentro del mencionado Departamento de investigadores especialmente interesados en esta temática y que se ha traducido en un conjunto de Tesis Doctorales presentadas en los últimos años por algunos de sus miembros Cosculluela (1990), Solanas (1990), Salafranca (1991), a las que espera unirse el presente trabajo. Tesis, por otra parte, deudoras todas ellas, de la inestimable aportación que supuso el trabajo pionero realizado por la Dra. María Luisa Honrubia en la elaboración de su Tesis Doctoral presentada en el año 1989.

De otro lado, el presente trabajo recibe la importante influencia de la línea de investigación en Análisis Exploratorio de Datos, iniciada desde la asignatura de Estadística (impulsada por los Dres. Montserrat Freixa, Joan Guàrdia, Ramon Ferrer y Lluís Salafranca) que supone

un nuevo enfoque en el tratamiento estadístico de los datos.

Se ha intentado en esta obra sintetizar estas dos líneas de trabajo, siendo por tanto, a nuestro entender, su principal interés, la sugerencia de la utilización en el contexto del análisis de la señal ERP, de técnicas de filtrado de la señal, propuestas desde la nueva perspectiva aportada desde el Análisis Exploratorio de Datos.

En primer lugar existe en el ámbito de la Neurociencia Cognitiva, disciplina por otra parte integrada por profesionales de diversos campos (psicólogos, psicofisiólogos, neurólogos, etc.), especial interés en el estudio de este tipo de potenciales eléctricos; por un lado como indicadores corticales de diversos procesos perceptuales, cognitivos o motores, y por otro lado intentando mejorar el conocimiento de los distintos agregados neuronales generadores de la aparición de esta actividad eléctrica registrada a nivel del córtex cerebral.

Dentro de los diferentes Potenciales nuestro interés se ha centrado en el estudio de la Variación Contingente Negativa (CNV), básicamente por dos motivos; el primero, las divergencias presentes por diferentes laboratorios en torno a su posible relación con diferentes constructos psicológicos, y en segundo lugar, la especial dificultad que presenta su registro.

La primera de estas causas, motivó que algunos miembros de este Departamento se pusieran en contacto con investigadores de otras universidades, siendo especialmente determinante en el desarrollo de esta tesis, el inicio de colaboración con el profesor Ernts J.P. Damen, de la sección de Psicología Fisiológica de la Universidad de Tilburg (Holanda).

El segundo de los motivos, se encuentra íntimamente ligado con el anterior. En efecto, para conseguir determinar los correlatos psicológicos de este potencial será necesario la utilización de este indicador en diseños experimentales, en los que se intente relacionarlo con diferentes variables psicológicas. Será necesario, para este fin, disponer de mediciones que reflejen fielmente la actividad eléctrica producida. Es en este punto donde radican, a nuestro entender, las principales dificultades inherentes a la utilización de este componente.

En general, cualquier señal ERP (Potencial Relacionado con el Evento) se encuentra totalmente enmascarada dentro de un ruido de fondo que presenta mayor amplitud, por tanto será necesario utilizar alguna estrategia para conseguir extraer la señal del registro obtenido. Existen diversas fuentes de ruido, éstas pueden ser de origen instrumental, algunas de las cuales podrán ser eliminadas con la utilización de correctos aparatos de registro, o bien de origen biológico. Estas últimas pueden provenir de fuentes extracerebrales o bien ser generadas por la actividad basal del propio cerebro (ej. ritmos α).

Se propone en esta tesis la depuración de la señal de interés, utilizando unas técnicas de filtrado, propuestas desde el Análisis Exploratorio de Datos.

La estructura seguida en el desarrollo del presente trabajo, es la siguiente: en el primer capítulo se realiza una breve introducción a la temática de los ERPs, detallando algunos de los principales experimentos que han sido utilizados, en la detección de algunos de estos potenciales, concretamente nos hemos centrado en la categoría de los que se han denominado como ondas lentas (slow).

El segundo capítulo está centrado en el componente CNV, realizándose una descripción de esta onda eléctrica, a la vez que se detallan algunas de las investigaciones, más relevantes, que han realizado diversos autores para relacionar este componente con algunas variables psicológicas.

La presentación de la problemática inherente al registro y análisis de la onda CNV, y en general de cualquier potencial de baja frecuencia, se ha realizado en el capítulo tercero, pudiéndose distinguir en éste dos partes bien diferenciadas. En una primera parte se detallan las características de instrumentación y los procedimientos que serían deseables para la obtención de un registro con la menor distorsión posible. En la segunda parte se enumeran algunas de las técnicas estadísticas más empleadas para el análisis de los datos obtenidos, remarcándose especialmente aquellos procedimientos encaminados a la depuración del registro obtenido para conseguir una estimación lo menos sesgada posible de la verdadera señal producida.

De entre las diversas técnicas de extracción de la señal del registro original, se detallan, en el capítulo cuarto, las diferentes técnicas de suavizado propuestas desde el Análisis Exploratorio de Datos, y se justifican las mejoras sustanciales que se consiguen al aplicar éstas en el campo de los potenciales lentos.

En el capítulo quinto se han aplicado algunas de las técnicas de suavizado, comentadas en el anterior capítulo, a unos datos reales cedidos gentilmente, para este fin, por el profesor Ernst Damen. En concreto, se trata de datos obtenidos en dos situaciones experimentales; un primer grupo de observaciones obtenidas en un experimento en el cual se ha elicitado la onda CNV, y un segundo grupo de registros conseguidos en un experimento de elicitación del

componente RP (potencial de preparación).

El último de los capítulos de los que se compone esta tesis (cap. 6), se ha dedicado a la elaboración de un resumen de las conclusiones, la mayoría de ellas ya expuestas a lo largo del presente trabajo.

Finalmente, y presentado a modo de apéndice, se ha realizado un pequeño estudio de simulación, en el cual se ha generado una señal ideal, y se ha observado el comportamiento de algunas de las técnicas de suavizado aplicadas a la estimación de esta señal, una vez ésta ha sido contaminada con diferentes tipos de ruido.

Por último, y con la intención de no haber provocado falsas expectativas, quisiera destacar que, a nuestro entender, el objetivo remarcable de esta tesis es la propuesta de utilización de unas técnicas concretas de filtrado de señales registradas. Esta propuesta se encuentra centrada en un determinado grupo de componentes, que por sus determinadas características (presentan baja frecuencia) hacen que la utilización de este filtrado resulte especialmente interesante.

Antes de finalizar esta introducción quisieramos hacer dos comentarios. En primer lugar mencionar que todas las figuras, en las que se representan gráficas voltaje-tiempo, han sido extraídas con la ayuda del paquete de programas estadísticos EDA ver. 2.2/0, del profesor Eugene Horber de la Universidad de Ginebra. En segundo lugar, y pese a que las últimas convenciones en fenómenos bioeléctricos recomiendan lo contrario, hemos preferido, siguiendo la práctica habitual de los investigadores de la CNV, representar la polaridad negativa de la onda en la parte superior de las gráficas voltaje-tiempo.

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES DE LAS ONDAS CORTICALES LENTAS.

1.1. INTRODUCCION

Muchos de los sucesos que experimentamos en nuestra vida cotidiana no ocurren de forma inesperada. Sabemos que la asociación de sucesos es esencial para la supervivencia y, por tanto, influyen nuestra conducta. En muchos casos no se producen cambios conductuales directamente observables sino que estos cambios son tan sutiles o moleculares que sólo los podemos apreciar a nivel psicofisiológico, produciéndose respuestas a nivel de sistema nervioso vegetativo y/o periférico (sudoración, sequedad de la boca, aumento o reducción del ritmo cardíaco) o a nivel de sistema nervioso central, produciéndose distintas respuestas eléctricas cerebrales.

De hecho, el registro de la respuesta eléctrica del cerebro evocada por estimulación, ya fue llevado a cabo a finales del siglo XIX por Richard Caton (1875). El trabajo realizado por este autor consistió en situar un electrodo de registro en el córtex expuesto de un animal y otro de referencia en la superficie de entrada del cráneo, constatando que se producía una diferencia de potencial al utilizar, como estimulador, la luz de una lámpara. A este respecto, tal como señala Shagass (1972), Caton no sólo fue el primer investigador en registrar un potencial evocado sensorial, sino que describió en el mismo experimento la actividad electroencefalográfica, a modo de incesantes oscilaciones de voltaje del cerebro en ausencia de ninguna estimulación.

Aproximadamente medio siglo más tarde, Hans Berger (1929) fue el primero que registró esta misma actividad espontánea eléctrica cerebral en el hombre, utilizando electrodos colocados en la superficie del cuero cabelludo.

A partir de ese momento, se desarrolló la electroencefalografía (EEG) como técnica para la detección de disfunciones cerebrales (ej. epilepsia o las producidas por lesiones cerebrales).

Sin embargo, las respuestas eléctricas cerebrales producidas por estimulación externa no se describieron hasta aproximadamente veinte años más tarde. El problema principal es que éstas respuestas eléctricas producen unas diferencias de potencial del orden de $5 + 10 \mu\text{Volt}$, quedando por tanto totalmente enmascaradas por la actividad electroencefalográfica basal que es de unos $40 + 100 \mu\text{Volt}$. El primero en proponer una solución a est. problema fue George D. Dawson (1947), que registró en el cuero cabelludo los potenciales originados por la estimulación eléctrica de un nervio periférico. Su técnica se basó en la suposición de que la respuesta evocada ocurría en un intervalo de tiempo fijo después de la estimulación, mientras que el EEG de fondo se comportaría de forma aleatoria. Por tanto, únicamente superponiendo diferentes ensayos en los que se ha estimulado al sujeto, aparecería el patrón de la respuesta evocada. Impresionó una misma placa fotográfica con múltiples ensayos que se presentaron mediante un osciloscopio de rayos catódicos.

Posteriormente presentaremos más extensamente esta técnica y otras derivadas de ella, con las que se puede filtrar la señal elicitada del ruido de fondo que nos la oculta.

A partir de este momento y con el desarrollo de la electrónica, que permite el abaratamiento y la comercialización de amplificadores, y de la informática, que posibilita complicados análisis con multitud de datos registrados, se abren nuevas perspectivas en la investigación de la conducta que, en esos momentos, nos facilita un acceso más exhaustivo a los fenómenos y problemas de investigación propios de la Psicología.

En principio, el interés se centra en las diferencias de potencial observados en el cerebro al presentar algún tipo de estimulación externa, sea esta auditiva, visual o somatosensorial. De ahí que el término que se utiliza sea el de Potenciales Evocados (EP).

En la década de los 60 empiezan a describirse potenciales como el P300 (Sutton, 1965), también denominado Onda Positiva Tardía (Late Positive Wave - LPW), la Variación Negativa Contingente (Contingent Negative Variation - CNV) (Walter y cols, 1964), el Potencial de Preparación (Readiness Potential - RP, o Bereitschaftspotential - BP) (Khorhuber y Deecke, 1965) que no pueden ser relacionados únicamente con características de la estimulación externa, sino que se vinculan con estimulación interna del propio sujeto, es por ello que Vaughan et al. (1968) proponen la denominación de Potenciales Relacionados con el Evento (Event-Related Potentials - ERP) (Honrubia, 1989).

Los ERPs son cambios en voltaje que ocurren en un determinado momento del tiempo sea antes, durante o después de algún suceso del mundo exterior o de algún proceso psicológico (Picton, 1988). Por tanto, esta definición engloba a los potenciales evocados e incluye además los potenciales emitidos (Weinberg et al., 1974) ,o invocados (Donchin, Ritter y McCallum, 1978), que se producirán en ausencia de estimulación externa.

Como sea que el proceso de evocación e invocación en los ERPs no son excluyentes entre sí, deberemos diferenciar, dentro de la onda, lo que se han denominado "componentes" que estarán en función del tipo de estimulación vinculada a su generación. En concreto, pueden dividirse según Sutton y cols. (1965) en exógenos, determinados por las características físicas del estímulo, o endógenos, estos últimos determinados por la significación psicológica del estímulo o la ausencia de éste. Los componentes endógenos pueden ser clasificados, a su vez, en potenciales "preparatorios" e "integrativos" (Picton, 1980). Los potenciales preparatorios son los relacionados con la actividad motora, como por ejemplo el RP, que aparece justo antes de una acción motora iniciada voluntariamente (Deecke, Scheid y Kornhuber, 1969). Los componentes integrativos están relacionados con actividades perceptuales complejas, dentro de esta categoría se incluirían el P300, la CNV, etc.

Otra clasificación de los componentes de los ERPs hace referencia a la rapidez de aparición y desaparición de la diferencia de potencial, de esta manera se han determinado como potenciales rápidos o lentos¹. La medición de ambos no puede realizarse con el mismo tipo de amplificadores de corriente alterna (AC), ya que en el caso de los potenciales lentos estos amplificadores pueden distorsionar la señal, por lo cual es necesario utilizar amplificadores de corriente continua (DC), es por ello que a los potenciales lentos también se los denomina potenciales DC. En el capítulo tercero de este trabajo abordaremos la temática de los amplificadores con mayor detalle.

Aunque este tipo de potenciales DC, ya fueron descritos por el fisiólogo Richard Caton (1875), el inicio de su investigación debe situarse con el importante hallazgo,

¹ Lento en este caso no hace referencia a una aparición tardía del potencial sino al mantenimiento de una diferencia de potencial durante un tiempo determinado.

prácticamente obtenido al azar, de la Variación Negativa Contingente (CNV), realizado en el año 1964 por Walter, Cooper, Aldridge, McCallum, y Winter.

Estos investigadores registraron un potencial DC, un segundo antes de la presentación de un estímulo al cual el sujeto debía responder con una acción de tipo motor, siendo presentado al sujeto antes de este estímulo "imperativo" otro estímulo que ejercía funciones de "aviso". La aparición de un cambio en el potencial, de polaridad negativa, y sostenido entre los dos estímulos, junto con la dependencia de la amplitud de la actitud psicológica del sujeto hizo que Walter y cols. (1964) asignaran una significación conductual a este tipo de onda. En concreto, la denominaron onda de expectancia.

La CNV ha generado, en estos casi treinta años transcurridos desde su descripción, una gran cantidad de experimentación a partir de las diversas hipótesis que surgieron sobre su relación con diferentes constructos psicológicos. En el siguiente capítulo presentaremos las líneas más relevantes, que se han desarrollado en la investigación de la CNV.

Posteriormente repasaremos brevemente aquellos ejemplares² más utilizados en la investigación en potenciales DC y que han producido mayor número de hipótesis sobre los constructos cognitivos o motores relacionados con ellos.

Como se ha mencionado anteriormente, los ERPs están compuestos por diferentes componentes. Una extensa revisión de las definiciones y tipos de componentes de los ERPs que se han producido durante todo este periodo de investigación pueden encontrarse en Andrés (1985); Honrubia (1989);

² Nos referimos a ejemplares, siguiendo la terminología de Kuhn (Kuhn, 1979; Gabucio, 1992), como aquellos experimentos que dentro de un mismo paradigma han sido capaces de generar, por ellos mismos, una gran cantidad de investigación.

Coscolluela (1990) o Solanas (1990), con lo cual no nos centraremos en este trabajo, en una presentación exhaustiva de esas definiciones, puesto que ello se escape a nuestro objetivo.

Sin embargo, con objeto de precisar desde un principio, los enfoques fundamentales relacionados con los conceptos que en este trabajo utilizaremos, presentamos las propuestas de definición más ampliamente recogidas por los diversos autores en este campo.

Así, Donchin (1977) define a los componentes como

"... desviaciones de cada ERP respecto al promedio de todos los ERPS obtenidos en este experimento...."

por tanto, el componente puede definirse como:

"... una fuente independiente de variancia en el experimento".

Esta aproximación, de marcado carácter estadístico, se vió complementada posteriormente con una aportación de definición en la que se acentúan los aspectos más metodológicos. De esta forma Donchin et als (1978) proponen:

"... un componente es un conjunto de cambios en diferencias de potencial que pueden mostrarse funcionalmente relacionados con una variable experimental o conjunto de variables..."

En esta misma línea, y con una voluntad de organización holística en los aspectos que deben darse cita en cualquier propuesta de definición de componente, Picton y Stuss (1980) (citado en Honrubia, 1989), seleccionan los siguientes tres elementos:

1.- Psicológico: asociado a los procesos cognitivos generados por la manipulación de cierto tipo de variables.

2.- Estadístico: fuente independiente de variación o desviación de cada componente con respecto a la esperanza matemática del proceso aleatorio.

3.- Fisiológico: Reflejo de la actividad de un conjunto neuronal.

Retomando los diferentes tipos de ERPs (rápidos, lentos o DC), se puede establecer que el objetivo de esta tesis es el estudio de los potenciales DC y más concretamente el estudio de la CNV. Cabe aclarar que la clasificación endógeno/exógeno y lento/rápido son dos clasificaciones diferentes de los mismos fenómenos, pero debido a que todos los potenciales lentos se supone varían fundamentalmente en función de variables de tipo psicológico, por definición los potenciales DC son considerados todos ellos endógenos.

En lugar de hacer una relación de los componentes que se han descrito, pertenecientes a la categoría de potenciales DC, hemos preferido, siguiendo el modelo de Birbaumer et als. (1990), y dada la multiplicidad de paradigmas en los que se producen, presentar diferentes experimentos en los que se desarrollan los distintos componentes conocidos hasta el momento. Evidentemente, por tanto, habrá algunos componentes que se repitan en los diversos trabajos aquí incorporados.

1.2. EJEMPLARES EN LA INVESTIGACION DE POTENCIALES DC.

1.2.1. Onda negativa lenta (Slow Negative Wave - SNW) y orientación.

El experimento más simple que produce un potencial DC es la presentación de estímulos solitarios separados entre ellos por varios segundos. Cuando presentamos un estímulo novedoso para el sujeto, se produce en éste una respuesta llamada de orientación. Este tipo de respuesta se manifiesta de diferentes formas. Conductualmente, se puede observar una inmovilidad del sujeto, fijación visual por parte de éste sobre el nuevo estímulo. Por ejemplo, si el estímulo es visual, se observa una orientación de los órganos sensoriales específicos hacia la posible fuente de estimulación. A nivel de activación del sistema nervioso autónomo se observaría una deceleración del ritmo cardíaco, constricción periférica de los vasos sanguíneos, etc. Con respecto al nivel de activación del sistema nervioso central se observaría desincronización de las ondas α del electroencefalograma y la aparición de respuestas eléctricas evocadas (Kimmel et al., 1979; Sokolov, 1963). La repetición de la misma estimulación en el sujeto conduce a un efecto que se ha denominado habituación (ver. Fig 1.1.).

Por tanto, en la respuesta de orientación se pueden distinguir diferentes subprocesos que diversos autores han relacionado con otros tantos componentes que aparecen en las respuestas eléctricas cerebrales inmediatas a la aparición de un estímulo. Cuando el estímulo es desconocido, no esperado o no apareado ("mismatch"), aparece un componente en la onda evocada, aproximadamente con una

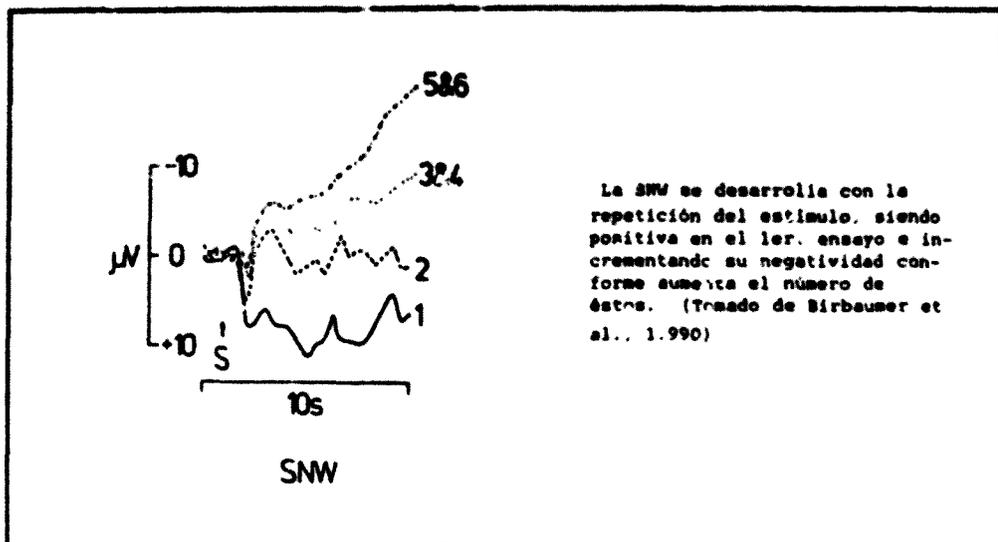


Fig 1.1 Onda cortical lenta (SCP) obtenida en el ejemplar de respuesta de orientación

latencia de 200 msec y de polaridad negativa, descrito y, denominado por Näätänen (1982) N200 o negatividad de no-apareamiento (Mismatch Negativity -MMN-). Este estímulo disonante con el modelo del entorno, determina que se produzca, por parte del sujeto, una revisión o reactualización del contexto ("context updating"). Este proceso provoca la aparición de otro componente, ampliamente estudiado en el contexto de ERPs, el P300 (Donchin, 1981; Donchin y Coles, 1988), el cual presenta polaridad positiva y aparece con una latencia aproximada de 300 msec.

Finalmente, y a partir de unos 500 msec. hasta 1000 msec., se obtiene una onda negativa sostenida (DC). Este componente denominado por Loveless (1976) Onda Negativa Lenta (SNW), aparece siempre al presentar un estímulo novedoso al sujeto. Es por ello que también se ha denominado Onda de Orientación ("O wave"). De todas formas, como se observa en la Figura 1.1, aumenta su amplitud conforme aumentamos el número de ensayos. Por tanto, este componente parece estar más relacionado con la habituación que con la respuesta de orientación (Weerts y Lang, 1973; Rohrbaugh y Gaillard, 1983).

1.2.2. Potenciales de procesamiento y experimentos de tareas de recuerdo.

En el subapartado anterior hemos presentado la onda eléctrica, que se provoca al presentar un estímulo, o una repetición de estímulos al sujeto. Sin embargo, si este estímulo resulta ser relevante para la tarea que debe realizarse, la respuesta eléctrica tenderá a incorporar ondas positivas. Este tipo de potencial lento fué descrito por Squires, Wickens, Squires, y Donchin (1976), denominándolo Onda Lenta (Slow Wave - SW). La aparición de este componente se producirá entre 500 y 1.500 mseg. después de la aparición del estímulo, presentado una polaridad positiva en la zona parietal del córtex cerebral, pero negativa en la zona frontal. La amplitud de esta SW se ve incrementada por la significación del estímulo y en experimentos que impliquen tareas de recuerdo, por ejemplo, si el sujeto debe discriminar un estímulo auditivo o contar un estímulo poco frecuente (Rohrbaugh, Syndulko, y Lindsley, 1979; Rohrbaugh y Gaillard, 1983). Ruchkin et al. (1988), realizan un experimento en el que, variando la dificultad conceptual de la tarea (memorización de dígitos versus restas y divisiones), así como la dificultad perceptual (degradando la presentación visual de los dígitos), distinguen en esta última condición como aparece una SW de características topográficas diferentes a la LPW y una latencia entre 750 y 1.550 mseg. después de la presentación del estímulo. Esta SW positiva no se ve afectada por la intensidad del estímulo, aunque sí lo es por la probabilidad de aparición de éste, los estímulos con pocas probabilidades de aparecer elicitán SWs de mayor amplitud (Rohrbaugh, Syndulko, y Lindsley, 1979). Roth, Rothbart y Kopell (1978) constatan como esta SW positiva puede sobreponerse a la SNW, este hecho explicaría la reducción de la negatividad en tareas de recuerdo conforme se incrementa el tamaño de la serie a memorizar.

Si la tarea requiere una actuación sostenida durante un intervalo (pudiendo éste abarcar desde 0,5 seg. hasta varios segundos), aparece una onda sostenida negativa después de la SW positiva aproximadamente en el primer segundo (M. Lang et al., 1987; W. Lang et al., 1987). McCallum, Cooper y Pocock (1.988) encontraron, en tareas complejas de recuerdo que incluían memorización de dígitos así como decisiones y respuestas motoras en ensayos de 28 segundos de duración, que la amplitud del SCP precedente a la acción y a la decisión fluctuaba en función de la dificultad de la tarea. Dichos autores asociaron el componente negativo de este SCP con la CNV, potencial que presentamos en el subapartado 1.2.5.

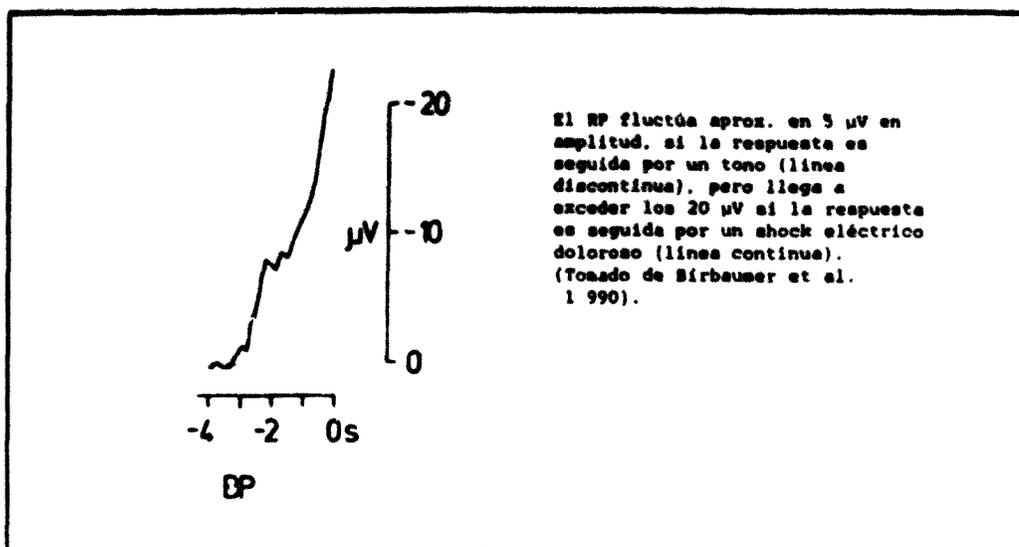


Fig 1.2 Potencial eléctrico obtenido al realizar movimientos voluntarios

1.2.3. Movimiento voluntario y potencial de preparación (RP).

Las respuestas electrocorticales relacionadas con el inicio, por parte del sujeto, de un movimiento voluntario, son descritas en el año 1965 por el laboratorio de Kohrhuber y Deecke. En este tipo de experimentos se pide al sujeto que realice una serie de movimientos voluntarios separados por intervalos decididos por él mismo. Si controlamos el inicio del movimiento utilizando el electromiograma, se constata como, entre aproximadamente 800 msec. y 500 msec. antes de la aparición de la contracción muscular, aparece una onda lenta negativa de aproximadamente unos 5 μVolts (ver Fig 1.2).

Este potencial lento, denominado potencial de preparación (RP), presenta una amplitud máxima en las zonas centrales de la superficie cortical (córtex motor), presentando asimismo una asimetría dentro de éstas, dependiendo de la zona corporal utilizada para realizar el movimiento. En efecto, si se realiza el movimiento con los dedos o con la mano la amplitud será mayor sobre el hemisferio cerebral contralateral (Deecke, Grözinger y

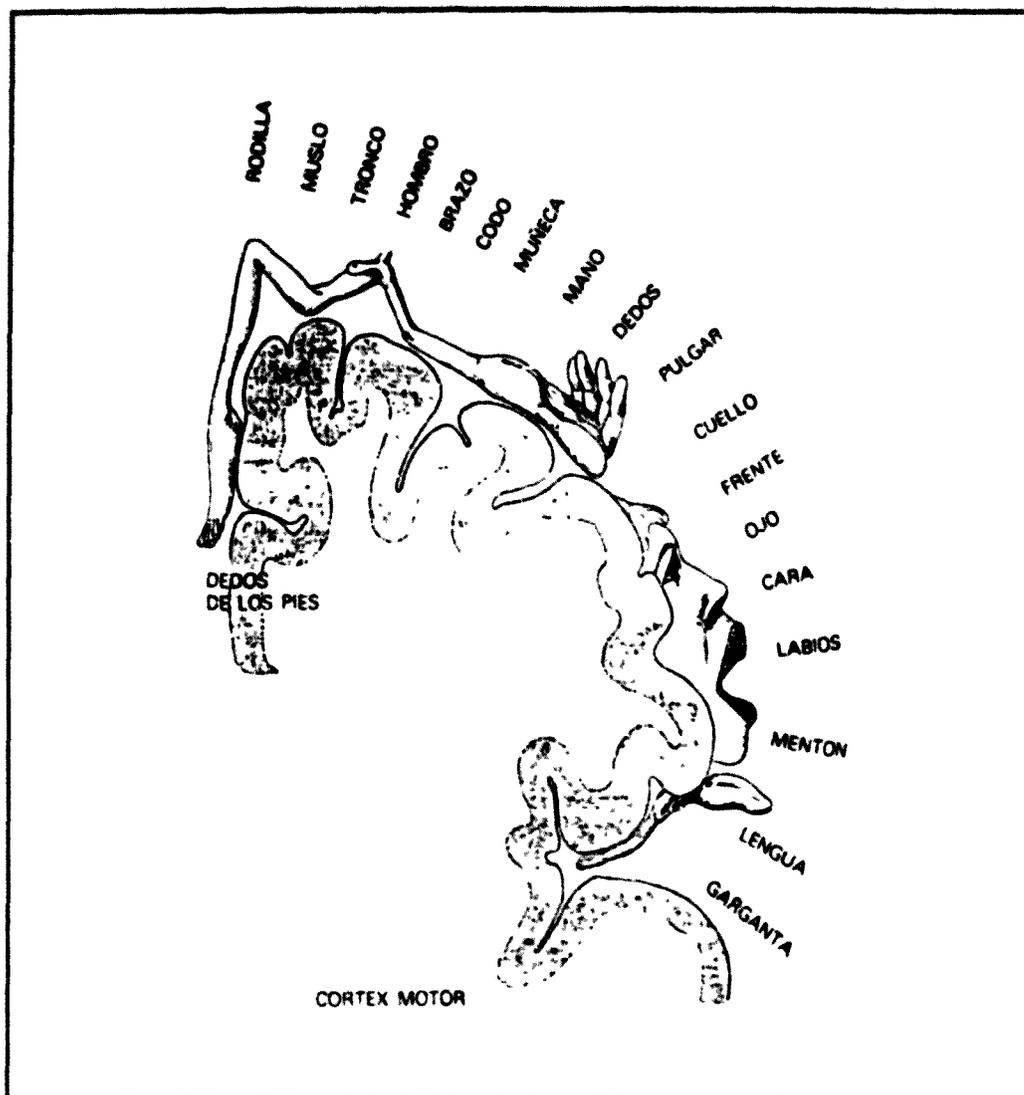


Fig 1.3 Homúnculo de Penfield: representación de la mitad izquierda del cuerpo humano entre los pliegues del córtex motor del hemisferio derecho (Adaptado de Geschwind, 1979)

Kornhuber, 1976), mientras que si el movimiento es realizado con los pies, la amplitud será máxima en la superficie del hemisferio ipsilateral (Brunia, 1980). Este último fenómeno, que en principio puede parecer contradictorio, obedece (Brunia y Van den Bosch, 1984) a la disposición de los dipolos en las áreas que proyectan estos potenciales al córtex cerebral. En efecto, si observamos la Fig 1.3, en la que se representa el homúnculo de Penfield³, vemos que el área de la superficie del córtex motor que corresponde al pie está situada en el pliegue que conforma la

³ Wilder Penfield, neurocirujano canadiense, estudió las respuestas que suscitaban la estimulación eléctrica de varios puntos del cerebro en pacientes conscientes durante una intervención quirúrgica, de este modo logró cartografiar las regiones responsables de varias funciones (Geschwind, 1979)

cisura interhemisférica, por tanto la dirección del dipolo que se genera al realizarse el movimiento con el pie provoca que el potencial eléctrico generado sea registrado en el hemisferio ipsilateral (ver Fig. 1.4).

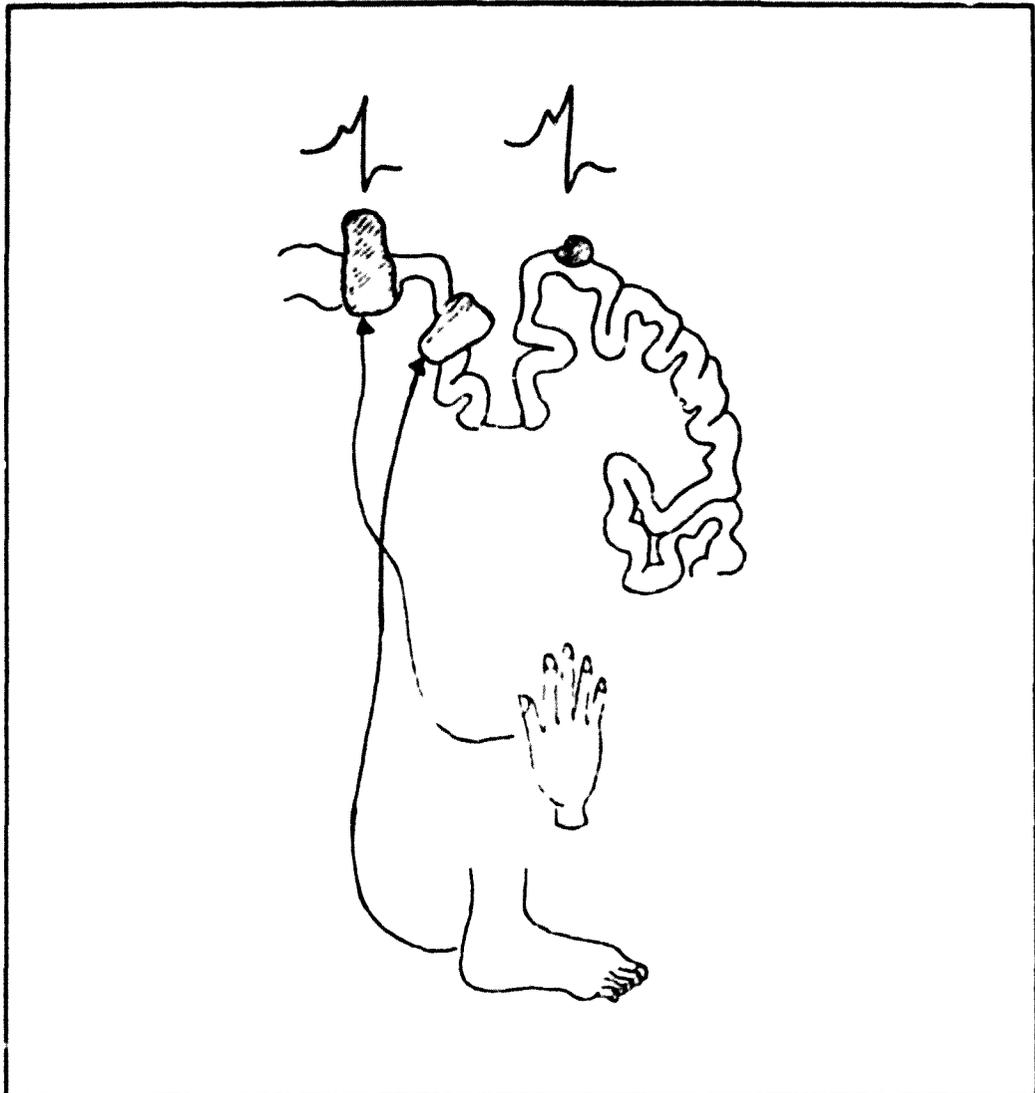


Fig. 1.4 El RP presenta una dominancia contralateral en movimientos realizados con los dedos de la mano y una dominancia ipsilateral en movimientos del pie (E. P. Damen 1992 comunicación personal)

El inicio del RP, así como su amplitud, son fácilmente modificables en función de diversas variables. Por una parte, las características físicas de las respuesta que se emiten (Grünwald-Zuberbier et als. 1981; Lang et als, 1986; Papakostopoulos, Stamler y Newton, 1986), por otra la complejidad de la tarea que se realiza, aumentando la amplitud e iniciándose antes el RP a medida que aumenta la tarea realizada por el sujeto. También afectan a la

latencia y amplitud de este potencial, otras variables de carácter psicológico como el refuerzo al sujeto, conseguido mediante feedback sobre la cualidad de la respuesta (McAdam y Seales, 1969), el nivel de atención (Grünwald, Grünwald-Züberbier y Netz, 1978), así como las consecuencias de la respuesta realizada (Elbert et al., 1986). En la Figura 1.2 podemos observar como varía la latencia y amplitud del RP en función de las consecuencias de la acción del sujeto.

1.2.4. Fluctuaciones espontáneas de los potenciales corticales lentos.

Como hemos visto en el anterior apartado, las ondas negativas lentas constituyen un componente básico de los procesos neurofisiológicos subyacentes a los procesos de preparación (Birbaumer et al., 1990). Algunos autores han sugerido la hipótesis de que la presencia espontánea de potenciales negativos lentos podría influenciar el procesamiento de información. Se podría considerar esta presencia de ondas negativas, como un indicador de activación general de las zonas específicas involucradas en tareas de procesamiento.

En concreto, Bauer (1984) presenta un experimento que él denomina diseño de disparador cerebral ("brain trigger"), en el cual se presenta un estímulo que desencadenará una determinada tarea, de manera contingente a la presencia de ondas espontáneas negativas lentas. El criterio que utiliza como disparador del estímulo desencadenante son 5 segundos de onda espontánea, de una amplitud entre 30 y 40 μ Volt (Fig. 1.4). De esta manera observa una diferencia

significativa en el tiempo de resolución de tareas cuando éstas han sido presentadas de manera contingente a las ondas espontáneas negativas, comparadas con cuando lo han sido contingentes a ondas cerebrales espontáneas de polaridad positiva. Siguiendo estos resultados Bauer (Bauer y Nirnberger, 1.981; Bauer, 1984; Bauer et al., 1986) corrobora la naturaleza preparatoria de los potenciales corticales negativos lentos.

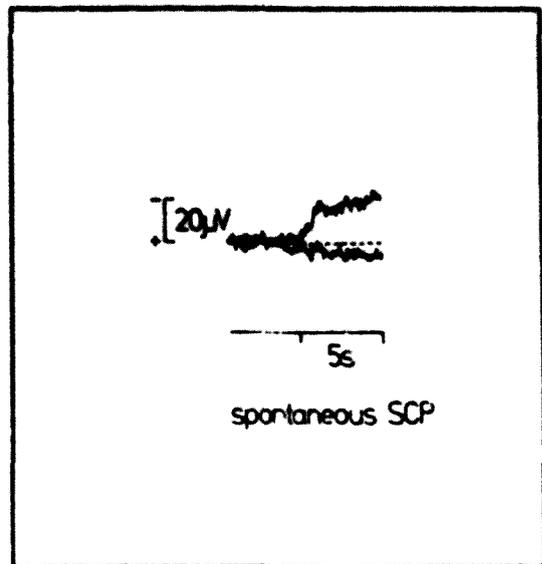


Fig. 1.5. En experimentos "brain trigger", la tarea es presentada contingentemente a las ondas espontáneas positivas o negativas. (Tomado de Birbaumer et al. 1990).

1.2.5. Variación Contingente Negativa.

Walter y cols. (1964) utilizando un experimento clásico de tiempo de reacción, describieron un nuevo componente, o como veremos más adelante, un nuevo conjunto de componentes, en la respuesta eléctrica cerebral evocada, al que denominaron Variación Contingente Negativa (CNV). Básicamente el experimento consiste en la presentación seguida de dos estímulos, el primero de los cuales advierte al individuo que aparecerá un segundo estímulo, tras el cual deberá realizar alguna acción motora. Estos autores observaron como aparecía una onda sostenida de polaridad negativa unos 500 msag. después de la aparición del primer estímulo hasta la respuesta motora realizada por el sujeto.

La descripción de la CNV, hace ya más de 25 años, ha generado una gran cantidad de experimentación por parte de diversos laboratorios en todo el mundo. Quizás junto con el complejo P300 sean los potenciales relacionados más ampliamente estudiados.

La CNV ha sido relacionada por diversos autores con diferentes va-

riables psicológicas como la expectancia, la atención, la volición, la motivación, etc., o directamente con la preparación motora. Trabajo nuestro será, en esta tesis, el presentar en posteriores capítulos, sinó todas, si las investigaciones que, a nuestro entender, han sido más relevantes.

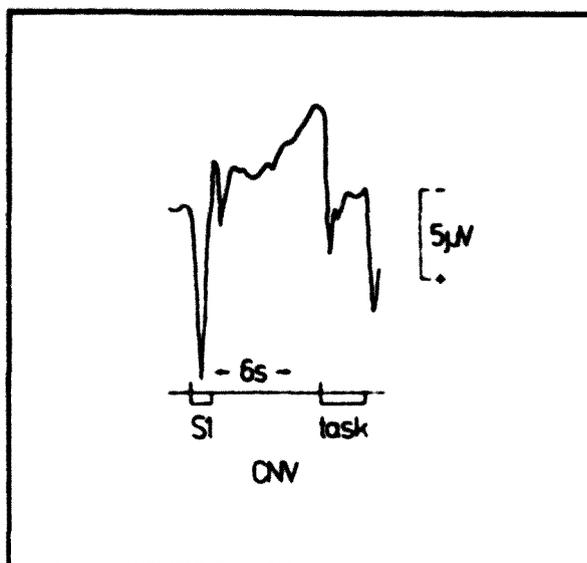


Fig 1.6. Experimento con presentación de dos estímulos

1.2.6. Aprendizaje del auto-control de los potenciales lentos corticales.

Basándose en el tipo de experimento de registro de la onda CNV, diversos investigadores proponen modificaciones de éste que han resultado especialmente ilustrativas a la hora de asignar correlatos cognitivos a los diferentes componentes presentes en la onda CNV. Presentamos en éste y el siguiente apartado, dos modificaciones que han generado, a su vez, dos de los grupos más activos del estudio de la CNV en la actualidad.

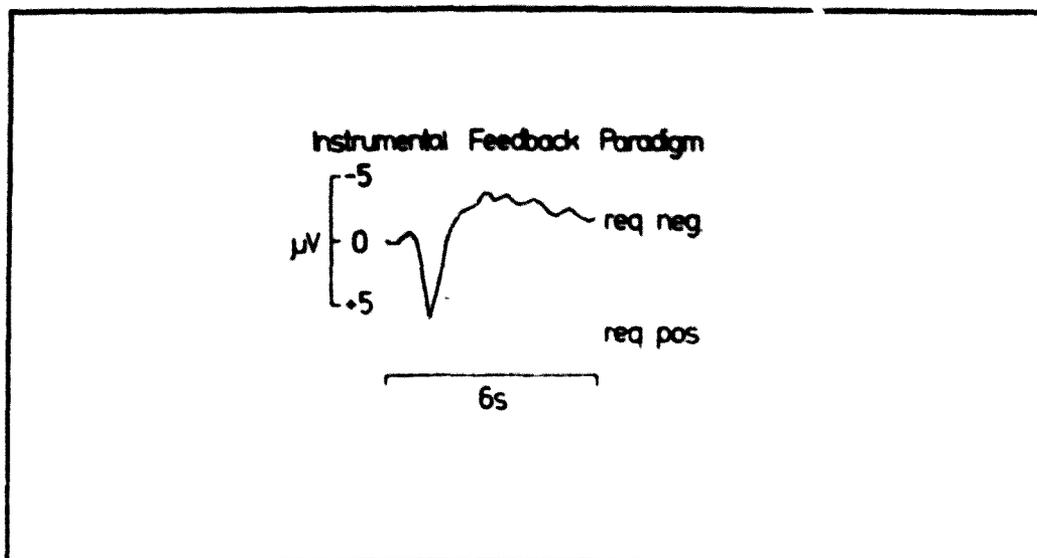


Fig 1 7 Potenciales generados al recibir los sujetos feedback sobre su actual SCP, siendo éstos reforzados para incrementar la negatividad o suprimir ésta (Tomado de Birbaumer et al 1990)

El primero de ellos se ha denominado paradigma del biofeedback o de aprendizaje del auto-control desarrollado por un grupo de investigadores de la Universidad de Tübingen (Alemania) (Elbert et al., 1980; Lutzenberger et al., 1982; Rockstroh et al., 1984; Birbaumer et al., 1986). Estos investigadores utilizan el condicionamiento instrumental para cambiar las amplitudes de las ondas corticales lentas sin modificar las condiciones del estímulo, ni de la respuesta. El experimento es similar al de la CNV con la única diferencia de que el estímulo de aviso puede ser de dos formas distintas, en uno se pide al sujeto que intente incrementar la negatividad de la onda, mientras que el otro estímulo discriminativo indica al sujeto que debe incrementar la amplitud positiva de la onda. Utilizando un monitor le presentan al sujeto feedback visual de sus resultados y además se utiliza un sistema de recompensas, cuando el individuo consigue su objetivo. Con este experimento se pone de manifiesto la influencia de la motivación del sujeto con la onda cortical lenta ("Slow Cortical Potential -SCP-). Los resultados mostraron un efecto inesperado consistente (Birbaumer y cols., 1988) en que el sujeto controla diferencialmente los dos hemisferios

cerebrales, esto es, incrementa la negatividad en un hemisferio, mientras que, simultáneamente, aumenta la positividad en el otro. Por otra parte, estos autores observaron los mismos efectos que hemos descrito en el subapartado 1.2.4, es decir, mostraron la presencia de la relación entre la negatividad de la onda y el mejor rendimiento en respuestas conductuales (tiempo de reacción, solución de problemas aritméticos, tareas sensoriomotoras, etc...) (Rockstoh et als. 1980; 1982; 1984).

Comparando los dos experimentos de los dos apartados anteriores, ambos se refieren al mismo fenómeno, por tanto los componentes que aparecieran en uno y en otro serán los mismos (Figs. 1.6 y 1.7).

1.2.7. Sec encialidad de las ondas RP y CNV.

En este apartado presentamos un nuevo experimento diseñado por un grupo de investigadores de la Universidad de Tilburg (NE), que da origen a la descripción de un nuevo componente de potencial DC. El experimento, basado en uno realizado por Lacey y Lacey (1977), consiste en combinar los paradigmas de registro de RP y de CNV. El sujeto experimental realiza una acción voluntaria (normalmente la presión de un botón), debiendo volver a realizar la misma acción no antes de 20 segundos, ni más tarde de 22 segundos. Dos segundos más tarde se presenta al sujeto un feedback visual sobre la corrección de su apreciación temporal. Los datos obtenidos señalan que la onda negativa precedente al movimiento ("Motor Preceding Negativity - MPN-), corresponde a lo que hemos denominado en el apartado 1.2.3, como potencial de preparación, con amplitudes más grandes sobre las áreas precentrales y postcentrales del

hemisferio contralateral a la mano que realiza el movimiento. En cambio, la presentación de los resultados estaba precedida por una onda negativa lenta de características diferentes a la MPN (Damen y Brunia, 1987; Brunia y Damen, 1988). Esta onda, llamada por estos autores Negatividad Precedente al estímulo ("Stimulus Preceding Negativity - SPN-), presenta en todos los casos una dominancia en amplitud del hemisferio derecho sobre el izquierdo. La SPN, en un principio, es interpretada como un signo de la expectación o anticipación del estímulo por parte del sujeto. De todas maneras, la significación de esta onda es motivo de trabajo en la actualidad (Damen y Brunia, 1990), ya que se han producido resultados contradictorios, que hacen que esta posible relación no esté tan clara.

CAPITULO 2

EJEMPLAR PROPIO DE LA INVESTIGACION DE LA CNV.

Las corrientes eléctricas de la materia gris parecen estar relacionadas con su función. Cuando alguna parte de la materia gris está en estado de actividad funcional, su corriente eléctrica exhibe, usualmente, variación negativa. Por ejemplo, sobre las áreas relacionadas, por el Dr. Ferrier, con la rotación de la cabeza y la masticación, fué observada una variación negativa de la corriente que ocurría cada vez que se realizaban alguna de estas acciones.

(Caton, R. 1.875, British Medical Journal, citado por McCallum, 1988).

2.1.- DESCRIPCION DEL FENOMENO.

En el capítulo anterior se han descrito diferentes experimentos en los cuales se elicitaba alguno de los componentes o macrocomponentes que se han venido en denominar Potenciales Lentos (SCP). Nos centraremos en este capítulo en el ejemplar que clásicamente pone de manifiesto la CNV y en las modificaciones del mismo, que han propuesto diferentes autores.

Dado que las primeras descripciones de estos fenómenos se efectuaron, en primera instancia, a través de trabajos con animales; nos referiremos a estos trabajos en primer lugar para, con posterioridad, abordar el tratamiento en humanos; aportaciones estas últimas que no aparecieron hasta la década de los años sesenta.

En animales el interés en el registro de potenciales lentos se desarrolló relativamente pronto, aproximadamente en la década de los años 50, debido sobre todo, al tipo de experimentos realizados, basados en el paradigma del condicionamiento clásico y al tipo de amplificadores usados

en esa época (amplificadores tipo DC)(ver apartado 3.1.2). Los mayores avances se realizaron a partir de los trabajos de Kohler y asociados (Kohler y Held, 1949), los cuáles registraron este tipo de ondas eléctricas lentas sobre el córtex visual y auditivo, en respuesta a estímulos luminosos y sonoros, respectivamente, utilizando gatos como sujetos experimentales.

Otra importante línea de experimentación animal fué desarrollada por Caspers (1959, 1961), el cual encontró en una gran cantidad de situaciones diferentes, que los estados de activación están generalmente asociados con ondas negativas sostenidas. Los trabajos de este investigador han sido determinantes a la hora de intentar establecer las bases neurológicas de generación de los SCP. Caspers sugirió que los cambios observados en este tipo de potenciales sostenidos, son consecuencia de un equilibrio entre hiperpolarizaciones y despolarizaciones de la actividad dendrítica de las neuronas. Su teoría consistía en que la presencia de una onda positiva corresponde a una despolarización de un conjunto de unidades neuronales en respuesta a un input, mientras que la presencia de una onda negativa corresponde a una hiperpolarización de un agregado neuronal. La experimentación en animales con electrodos implantados permite a este investigador (Caspers, 1961), comprobar esta hipótesis en estructuras subcorticales. En posteriores trabajos con sujetos humanos (Caspers y cols, 1984) y utilizando, en este caso, electrodos de superficie, detecta la misma tendencia. En efecto, el nivel de excitación cortical durante la vigilia y durante la actividad motora se encuentra asociada a ondas corticales negativas persistentes, mientras que el sueño y la depresión inducida farmacológicamente, presentan ondas positivas sostenidas. De todas maneras, concluyen estos autores, la presencia, a nivel de superficie de ondas negativas, no sólo es responsabilidad de la actividad neuronal, existiendo otras importantes fuentes que producen

estos potenciales, sobre todo la despolarización de las células de la glía, pero también, por ejemplo, las barreras hemato-encefálicas pueden producir considerables gradientes de potencial en el tejido nervioso.

Como ya se ha descrito en el capítulo anterior, la descripción de la CNV se produjo prácticamente por casualidad, el paradigma experimental utilizado en los laboratorios, durante esta época, era usualmente el propio del condicionamiento clásico, utilizando tareas de tiempo de reacción con anteperiodo de aviso.

Walter y cols. (1964) sospecharon que los potenciales evocados lentos podían verse enmascarados por la corta constante temporal de sus amplificadores AC. Utilizando constantes temporales más altas, y/o amplificadores DC, observaron una onda negativa sostenida en el intervalo entre los dos estímulos. La denominaron CNV, indicando con este nombre la dependencia de la relación entre el estímulo condicional y el imperativo, su polaridad y el hecho de que constituyera una variación respecto a la línea base previa al primer estímulo (E1).

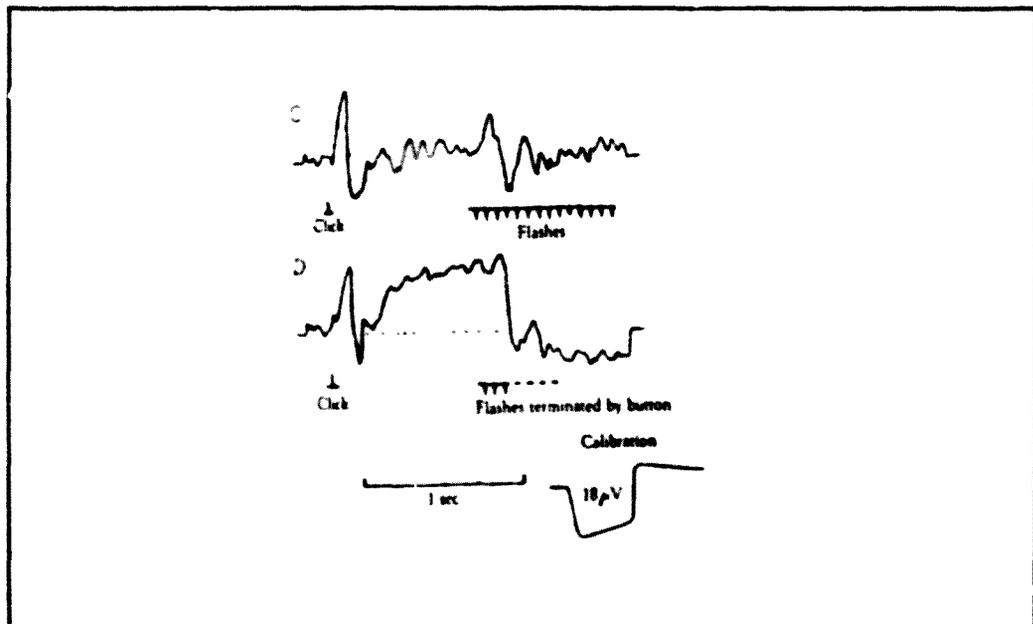


Figura 2-1 Onda CNV (Walter & cols 1964)

El componente CNV tiene una gran relevancia en la apertura de nuevas vías en el estudio de tareas de decisión, tiempo de reacción y conducta afectiva -entre otras- (O'Connor, 1980), y en diversos aspectos concernientes al estudio de las diferencias individuales (Plooij-Van Gorsel i Janssen, 1980).

La onda CNV se desarrolla después del último pico positivo evocado por el primer estímulo (E1) y acaba con el retorno a la línea base después del segundo estímulo (E2).

Existen tres características que la diferencian de los componentes endógenos más rápidos:

- 1.- comienzo retardado en el tiempo.
- 2.- su longitud se puede extender en función del intervalo inter-estimular: (1 seg. hasta 20 segs.).
- 3.- es de amplitud mayor que los otros potenciales (aprox. 20 μ V).

2.1.1. Morfología

Dependiendo de la forma que tome la onda, ésta se clasifica de diferentes maneras. Las dos más utilizadas, propuestas por Tecce (1972) y Timsit-Berthier et al. (1970), respectivamente, son:

1.- Tipo A i B dependiendo de si aumenta la amplitud de forma brusca o gradual, hasta alcanzar el punto máximo previo a la aparición del estímulo imperativo (ver Fig. 2.2). Para poder clasificar correctamente estos dos tipos de morfología, Tecce establece el siguiente criterio: registra la amplitud de la onda en el punto intermedio del ISI (punto L) y registra la amplitud en el punto situado 150 msec antes de la presentación de E2 (punto H) si:

- | | | | | |
|-----------------------------|--------|-----------------|----------------|--------|
| $\text{AmpH} - \text{AmpL}$ | $<$ | $6 \mu\text{V}$ | ----- | tipo A |
| $\text{AmpH} - \text{AmpL}$ | \geq | $6 \mu\text{V}$ | ----- | tipo B |

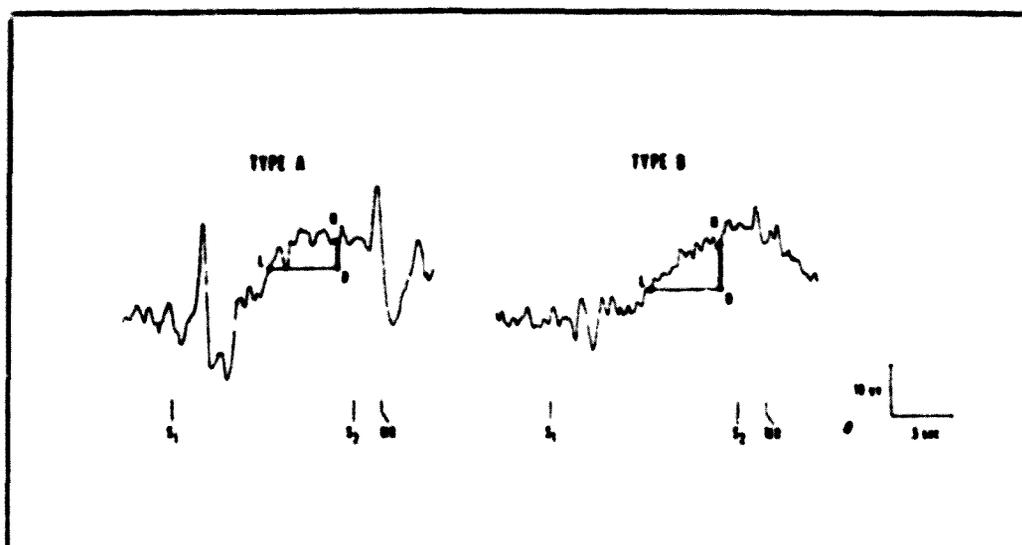


Fig. 2.2. CNV tipos A y B, basados en la rapidez de aparición de la máxima amplitud. (Tomado de Tecce y Cattanach, 1982).

2.- Según su resolución, es decir, si el retorno a la línea base es brusco o, al contrario, presenta una Variación Negativa Post-Imperativa (PINV) (ver Fig 2.3). Se ha definido este último fenómeno como el mantenimiento de la onda negativa incluso después de haberse producido la respuesta motora del sujeto. Tal extremo, descrito por Timsit-Berthier, Delaunoy y Geronio (1978); Timsit-Berthier et al. (1978); Timsit Berthier et al. (1987) en sujetos esquizofrénicos, se reproduce en sujetos normales bajo situación de estrés.

2.1.2. Topografía

Utilizando intervalos inter estimulares de corta duración (1 ó 1.5 seg.), la distribución de la amplitud de la onda CNV, en la línea antero-posterior, en sujetos normales, presenta una dominancia en la localización central o vértex, y una disminución en la magnitud de la negatividad, conforme se aleja la localización de los electrodos hacia las zonas parietales y, más aún, hacia la

zona frontal ($C_1 > P_1 > F_1$)¹.

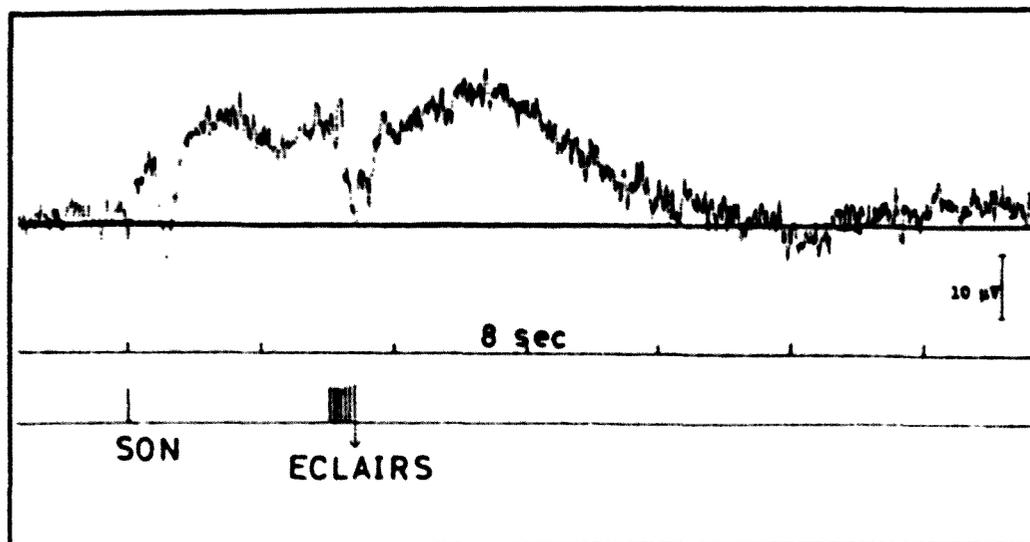


Fig. 2.3. PINV sostenida de 1.5 a 3.5 segundos posteriores a la aparición de E2 (Tomado de Timait et al. 1970)

2.2.- ¿CUANTOS PROCESOS SEPARADOS CONSTITUYEN LA CNV?

2.2.1.- Utilización de largos Intervalos Interestimulares (ISI's).

La utilización de largos intervalos interestimulares (ISI's) en el ejemplar clásico (E1-E2-TR), en el que se observa la CNV, obligó a algunos investigadores a abandonar la concepción unitaria de un solo componente, contingente a esta situación de apareo de estímulos.

Loveless y Sanford (1973) observaron como al utilizar ISI's a partir de 4 seg., la onda lenta que aparece entre E1 y E2, se divide claramente en dos componentes. La primera onda, que él denomina "onda 0", no es más que un componente de la respuesta de orientación al estímulo de

¹ Las iniciales representan la localización del electrodo, mientras que el subíndice r indica su situación sobre la línea imaginaria que uniría el nasion con el inion (ver ap. 3.1.1.).

aviso, mientras que el segundo componente, que denomina "onda E", está relacionado con la expectación y la anticipación a la señal de reacción. Este último es prácticamente igual al potencial de preparación (RP), que precede a un movimiento voluntario ver Fig 2.4.

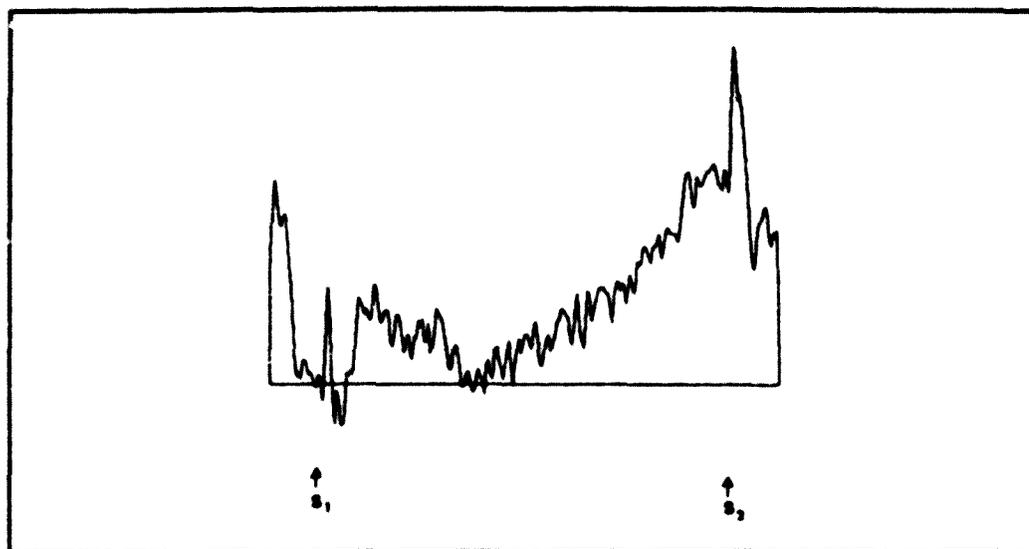


Fig 2.4. CNV extraída en un experimento con 4 seg. ISI. (Tomado de Loveless y Sanford, 1973).

La manera de diferenciar estos dos componentes es observar como fluctúan al utilizar diferentes variables experimentales. En un estudio preliminar (Loveless, 1973), observó como la amplitud de la CNV se ve afectada por las instrucciones e incentivos proporcionados al sujeto. Por otra parte McAdam y Seales (1969) observaron que la amplitud del potencial de preparación puede ser elevada mediante incentivos monetarios. Si el primer componente es simplemente una respuesta de orientación producida por el E1, las instrucciones e incentivos no tienen porque afectarlo, mientras sí tendrán efecto sobre el segundo componente, en una situación clásica de tiempo de reacción.

Loveless y Sanford (1974) realizaron un experimento para poder poner de manifiesto este efecto, además de descubrir si existía covariación entre la amplitud de la "onda E" y el tiempo de reacción. En este experimento utilizaron como señal de aviso siempre la misma: un tono

de 1000 Hz con 100 mseg de duración. La señal imperativa era ruido blanco que terminaba con la respuesta, pudiendo tener alguno de los tres siguientes niveles de intensidad: 50, 60 ó 70 dB. El intervalo interestimular era de 4 seg, que, según los autores, es el mínimo necesario para poder distinguir visualmente los dos componentes.

Las instrucciones dadas a los sujetos fueron de tres tipos diferentes:

a) "normal"; se pide una respuesta lo más rápida posible, pero no prematura.

b) "sensorial"; se le pide al sujeto que evite las reacciones prematuras, aún sacrificando la rapidez. En este caso se está pidiendo al sujeto que oriente su atención hacia la recepción del estímulo imperativo, sin responder hasta tener la absoluta certeza de haberlo percibido.

c) "motora"; se le pide al sujeto la máxima rapidez en la respuesta, sin importar que esto pueda ocasionar adelantos a la aparición del E2. En este caso se intenta direccionar la atención del sujeto hacia el movimiento que ha de realizar.

En cada una de las nueve situaciones experimentales (3 niveles de intensidad x 3 tipos de instrucción) se efectuaron ensayos de prueba hasta conseguir 24 ensayos libres de movimientos oculares y que no hubieran presentado respuestas prematuras.

Si observamos la Fig. 2.5. , vemos como el primer componente prácticamente no varía, efecto que los autores confirmaron mediante análisis de la variancia ($p > 0,05$), por tanto, concluyen que esta "onda 0" es un componente cortical de la respuesta de orientación (Sokolov, 1963), al primer estímulo, ya que sólo se verá influenciada por la novedad (cambios inesperados en la modalidad o tiempo de presentación) de este estímulo de aviso (Loveless, 1976).

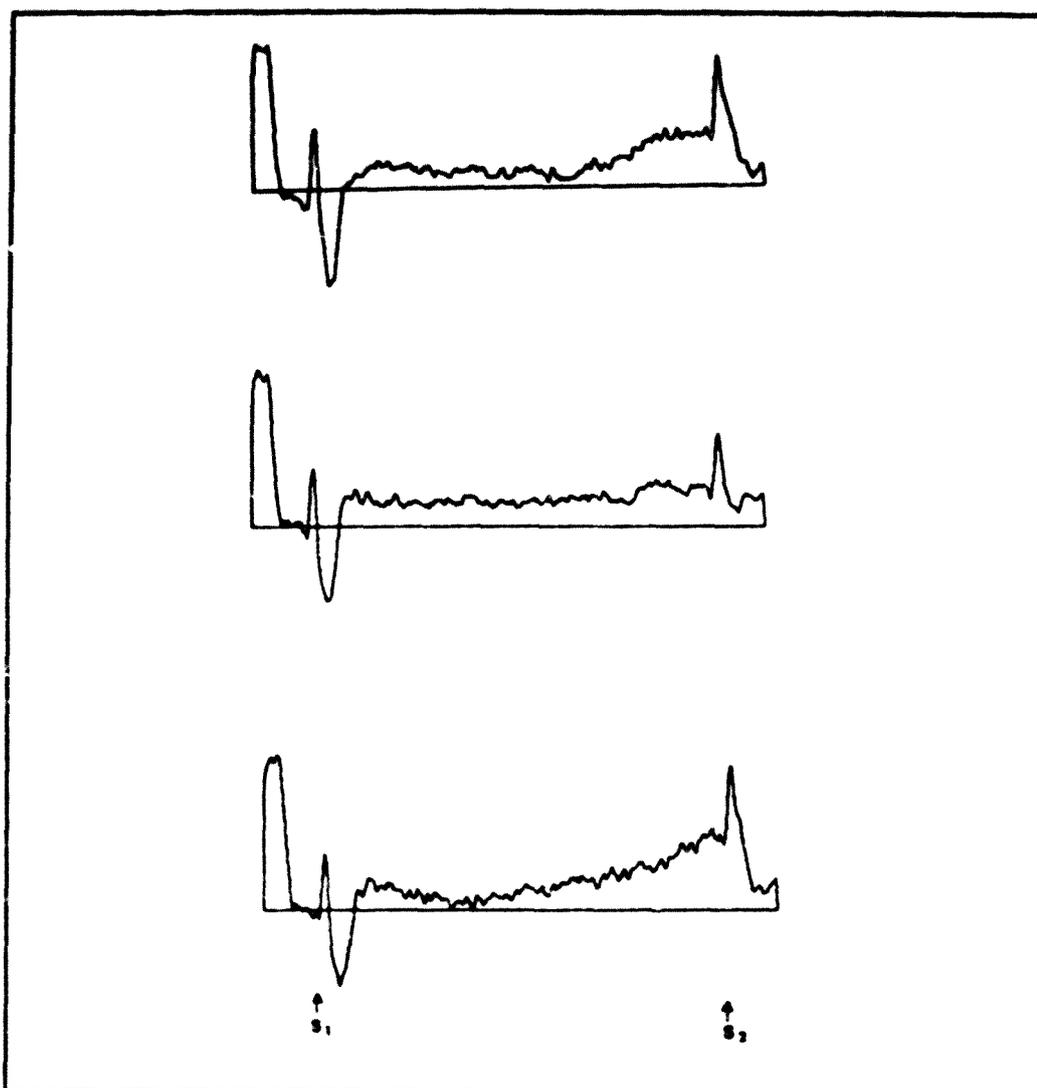


Fig 2.5. ERP promedio de todos los sujetos, registrado en el vértex, de cada una de las tres posibles instrucciones del experimento. El ISI entre E1 y E2 es de 4 seg. (Tomado de Loveless y Sanford, 1974).

Respecto a la amplitud de la parte terminal del ERP registrado ("onda E"), sí se detectan diferencias entre los tres tipos de instrucción ($p < 0,05$). En la instrucción "sensorial" no se registra prácticamente negatividad previa a E2, mientras que en las otras dos condiciones aparece, aproximadamente a partir de la mitad del ISI una creciente diferencia de potencial negativa justo hasta la presentación del E2. Por otra parte constataron que el aumento en la amplitud de la "onda E" estaba acompañado de una reducción en el tiempo de reacción, siendo éste a su vez, menor conforme aumentaba la intensidad del estímulo.

Esta relación inversa detectada entre la amplitud de la CNV (en su última parte) y el RT concuerda con gran cantidad de trabajos en los que se relacionan estas dos medidas (sumarizados por Rebert y Tecce, 1973). La conclusión de estos investigadores es que la "onda E" es un indicador del nivel de preparación a la respuesta.

2.2.2.- Lateralización y otras Variaciones Distribucionales de la CNV.

En el año 1976 aparece publicado, en la revista Science, un interesante trabajo de un grupo de investigadores de la Universidad de UCLA (Rohrbaugh, Sydulko y Lindsley, 1976). En este experimento, los autores realizaron una comparación de los potenciales generados, tanto en la situación clásica de estímulos apareados con 4 seg. de ISI, como en la situación de un solo estímulo (sin apareamiento).

Además de colocar los electrodos de registro sobre la línea antero-posterior, como venía siendo habitual en los experimentos de CNV, se colocaron también en las localizaciones C₃ y C₄ (ver ap. 3.1.1.), pudiéndose observar, de esta manera, las posibles diferencias interhemisféricas.

En la situación en la que se utilizaban los dos estímulos apareados, el estímulo de aviso indicaba al sujeto cuál era la mano con la que debía responder, instruyendo al mismo para responder con la máxima brevedad, pero evitando en lo posible las anticipaciones a la aparición del segundo estímulo, o sea, lo que hemos denominado como instrucción "normal" de las utilizadas por Loveless y Sanford (1974). Por otra parte, en la situación en la que se utilizaron estímulos no apareados, se

registraron los potenciales relacionados con la presentación de un estímulo igual al empleado como estímulo de aviso en la situación anterior y los potenciales relacionados con respuestas idénticas a las realizadas, al presentarse el segundo estímulo, pero en este caso iniciadas de manera voluntaria por parte del sujeto.

Los potenciales generados en la situación de estímulo no apareado, presentaron una distribución claramente negativa en la zona frontal, disminuyendo su amplitud conforme se desplazan los electrodos por la línea antero-posterior, siendo cláramente positivos en la zona parietal. Esta distribución es prácticamente la misma que la del componente que se registra como respuesta al primer estímulo, en la situación de estímulos apareados. Este resultado es idéntico al observado por Loveless y Sanford (1974), anteriormente comentado. En ninguna de las dos situaciones se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos hemisferios cerebrales.

La distribución que presentaron los potenciales generados por el estímulo imperativo, así como, los generados por la respuesta voluntaria del individuo, fué negativa en todas las localizaciones, pero mucho más marcada en la zona central (córtex motor). Asimismo, y en ambos casos, se observaron diferencias entre las localizaciones C₃ y C₄, presentándose una onda de mayor amplitud en el hemisferio contralateral a la mano con la que se hubiera realizado la respuesta.

Rohrbaugh, Sydulko y Lindsley (1976) observaron cómo la morfología de las ondas era prácticamente igual en las dos situaciones de las que se componía el experimento, pudiéndose sintetizar la onda que conocemos como CNV y que se produce en la situación de apareamiento de estímulos, a partir de la unión de los componentes generados por un solo estímulo y un movimiento realizado por el sujeto

voluntariamente. Por tanto, concluyeron que ninguno de los dos componentes en los que se ha dividido la CNV es contingente a la situación clásica en la que se ha registrado, siendo el único efecto importante el de la conjunción temporal de las ondas al utilizar este ejemplar experimental (E1-E2-TR) (ver Fig. 2.6). El hecho de no considerar el segundo componente contingente a esta situación experimental, lleva a los autores (Rohrbaugh y Gaillard, 1983) a rechazar la idea de que éste pudiera estar relacionado con la anticipación al segundo estímulo, adoptando una visión puramente "motriz", en la que consideraron que este componente refleja un proceso de preparación de la respuesta motora; por tanto no se diferencia del potencial de preparación (RP), descrito por Khornhuber y Deecke (1965).

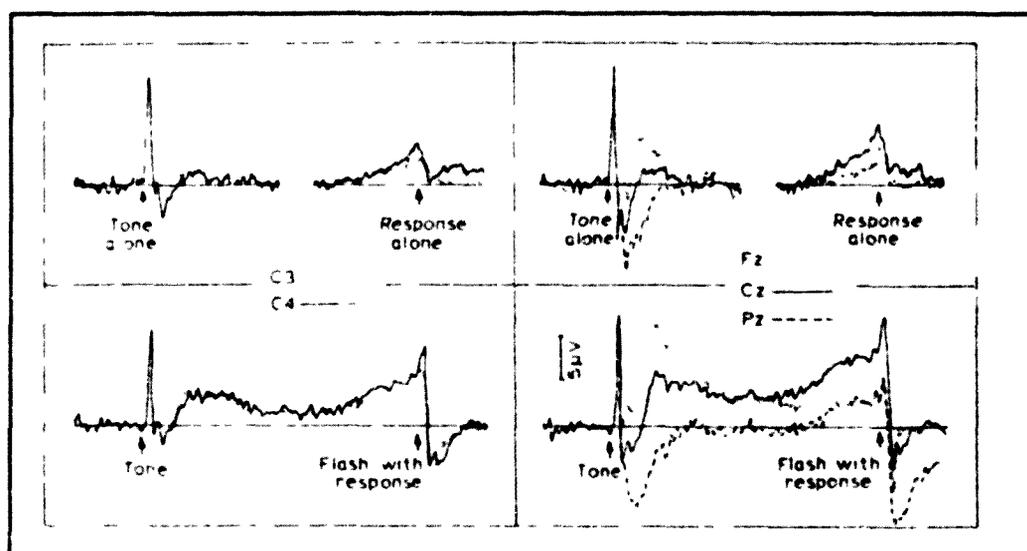


Fig 2.6 Síntesis de la onda CNV a partir de los potenciales producidos por estímulos no apareados (Tomado de Rohrbaugh y Gaillard, 1983).

Por otra parte, y contrariamente a lo observado por Weers y Lang (1973), estos autores no observaron que se produjera extinción en la respuesta eléctrica inmediata a la aparición del primer estímulo, ya que no sólo no se producía un descenso de la amplitud de la onda conforme se aumenta el número de ensayos, sino que se produce un crecimiento de la negatividad del componente. Este

resultado, por tanto, contradice la hipótesis de que este componente pueda estar relacionado con la respuesta de orientación.

2.3.- RELACION CON EL CONDICIONAMIENTO CLASICO.

2.3.1.- Modelo de WALTER (1.964)

Como ya se ha mencionado anteriormente, los primeros investigadores (Walter y co. 1964) que describieron este fenómeno, utilizaron el paradigma clásico de tiempo de reacción, con la presentación de un estímulo de aviso previo a la aparición del estímulo imperativo, al cual el sujeto debe responder.

A través de diversos experimentos, estos autores observan dos hechos que encajan perfectamente con los principios del condicionamiento clásico pauloviano. En primer lugar, esta onda negativa disminuye paulatinamente, hasta su total desaparición (extinción) al cabo de unos treinta ensayos en los que después de la presentación del estímulo de aviso no aparece el estímulo imperativo. En segundo lugar esta variación negativa se restaura inmediatamente al volver a encadenar la presencia de los dos estímulos.

Por tanto, dentro del modelo elaborado por Walter, la CNV es en esencia una respuesta condicional, que se produce en esta situación de dos estímulos asociados siendo el estímulo imperativo, el estímulo incondicional, y el estímulo de aviso, el estímulo condicional.

Walter (1965) observa el hecho de que al informar al sujeto de la no aparición del estímulo imperativo, la onda

negativa desaparece inmediatamente. Esta información, por tanto, produce el mismo efecto que se obtendría después de unos 30 ó 50 ensayos en los que, sin avisarlo previamente, se hubiera eliminado el estímulo imperativo de la secuencia. Walter interpreta este hecho relacionando la CNV con la probabilidad subjetiva, o estimada por parte del sujeto, de que después del estímulo de aviso aparecerá el estímulo imperativo. Es por ello que este investigador considera que el constructo psicológico, que genera la aparición de la CNV, es la expectativa del individuo hacia el estímulo imperativo. Esta expectativa es, básicamente, función de dos factores, en primer lugar la probabilidad que considera el sujeto de que aparezca el segundo estímulo y en segundo el grado de atención que el sujeto dirige hacia el estímulo imperativo y la tarea que éste demande, frente a otros estímulos que pueden provenir tanto del entorno interno como externo. De hecho, durante algunos años, en la literatura especializada se denominó a la CNV Onda de Expectativa o "E wave".

Durante los primeros años que siguieron a la descripción, por parte del equipo de Walter, del fenómeno de la CNV se desarrollaron diferentes experimentos que intentaban confirmar esta hipótesis de la expectativa, como constructo psicológico subyacente a esta variación negativa del EEG. Todos los experimentos utilizaban el mismo paradigma inicial de tiempo de reacción. McCallum (1988) señala que, de hecho, en esta situación se pueden producir dos tipos de expectativas hacia el estímulo imperativo. La primera sería la expectativa relacionada con la probabilidad de aparición del segundo estímulo, cuando existen ensayos en los que se ha eliminado el estímulo imperativo. La segunda, sería la expectativa relacionada con la estimación del tiempo, cuando se pide al sujeto que estime cuando debería aparecer el estímulo imperativo.

2.3.1.1.- CNV y la Probabilidad del Estímulo Imperativo (IF --> DO).

Ya en sus primeros trabajos Walter (1965, 1968) observa como la omisión del estímulo imperativo en una proporción de ensayos, produce una disminución en la amplitud de la CNV. Cuando el porcentaje de omisiones es de un 50%, la amplitud de la onda se reduce aproximadamente a la mitad, mientras que si el porcentaje de omisiones es superior, la deflexión negativa prácticamente desaparece.

Con el propósito de evitar que el sujeto se anticipe en su respuesta a la señal imperativa, se realizaron algunos experimentos, en los cuales había una pequeña (por debajo del 20%) proporción de ensayos en los que no se presentaba el estímulo imperativo. En estos casos se observa que, no sólo no disminuye la amplitud de la onda, sino que en la mayoría de los casos se ve aumentada. Esta aparente contradicción, según McCallum (1988), se explica por el hecho, de que al ser una pequeña proporción los ensayos sin estímulo imperativo, la expectativa del sujeto aumentó, al intentar descubrir estos.

Existe una controversia, entre diferentes autores, sobre la proporción de ensayos con omisión del E2 necesarios para observar una disminución en la amplitud de la CNV. Walter (1968) sitúa el límite en un 20% de los ensayos, mientras que Low et al. (1966) replicando los primeros experimentos de Walter, lo había situado en un 25%, Järvillehto y Mantysalo (1976), por su parte, observan una disminución de la amplitud a partir de una proporción del 15%. Otros autores como Hillyard y Galambos (1967) han descrito aumentos de la amplitud de la CNV, incluso con una probabilidad del estímulo incondicional, por debajo de 0.5. Aparte de las grandes diferencias individuales, que los mismos autores mencionan, hay que destacar que los resultados son difícilmente comparables, ya que no

conocemos las instrucciones dadas a los sujetos en cada uno de los experimentos. Es posible que por razones de competitividad, búsqueda de recompensa o evitación de un castigo, los sujetos puedan mantener una preparación de respuesta para obtener un tiempo de reacción rápido, incluso con probabilidades muy bajas de aparición del estímulo imperativo.

Existe en estos experimentos, en los que se manipula la probabilidad de aparición del E2, un resultado común, las diferencias en la amplitud producidas por las diferentes proporciones sólo se observan en la última parte de la onda, justo antes de la aparición del estímulo incondicional. Naturalmente, este hecho no tenía interpretación para los primeros autores, ya que tenían una concepción de la CNV como componente único. No será hasta que se describa la CNV como una onda multicomponente, que se interpretará que este cambio en la proporción sólo afecta a una parte de toda la onda eléctrica, concretamente al componente tardío de la CNV (McCallum, 1988).

2.3.1.2.- CNV Y Estimación del Tiempo (WHEN --> DO)

Walter et al. (1964), observaron en sus primeros experimentos, como al pedir al sujeto que realizara la respuesta motora en el momento que él estimara que tendría que haber aparecido el estímulo imperativo, aparecía igualmente la CNV, con la única diferencia de que la resolución después de la acción era mucho menos rápida que en la situación clásica en la que está presente el E2. McAdam y Seales (1969), relacionan esta expectativa en la estimación del tiempo, con el aprendizaje que realiza el sujeto del intervalo entre los dos estímulos. Este autor realiza un experimento similar al del laboratorio de Walter, con la única diferencia de que el sujeto es informado, sobre si ha acertado o se ha equivocado en su

apreciación temporal. Conforme el sujeto aumenta la proporción de aciertos obtenidos en su estimación, la amplitud de la CNV aumenta. McAdam y Seales concluyen que la expectativa no puede considerarse el único factor que influencia a la CNV, siendo factible incorporar otros aspectos como la motivación, modificados en este experimento, mediante el feedback que se le da al sujeto, que también están relacionados con la CNV.

2.3.2.- Modelo de HOWARD, FENTON y FENWICK (1.980)

Existe otro grupo de investigadores (Howard, Fenton y Fenwick, 1980), de la Universidad de Belfast, que realizaron sus trabajos a principio de la década de los ochenta, investigando la CNV dentro del paradigma del condicionamiento clásico pauloviano.

Según estos autores la CNV se explica fácilmente dentro del modelo pauloviano de acercamiento ("GO") y evitación ("No GO"). De esta manera, estos autores integran un aspecto asociativo (expectativa, según Walter) con aspectos no asociativos (motivacionales). Dentro de esta visión, por tanto, la CNV refleja una expectativa hacia la recompensa y evitación de castigo.

Una simplificación del modelo de estos autores puede observarse en la Fig. 2.7. Imaginemos que se presenta al sujeto, en la clásica situación de registro de la CNV, un EC+ (el sujeto debe realizar una respuesta al aparecer el E2 o EI) que produce una activación inicial de la expectativa hacia la recompensa o no castigo. Durante el intervalo inter-estimular y mientras no aparezca el EI, progresivamente se excita el sistema motivacional de recompensa², produciendo una progresiva diferencia de

² Denominado por Routtenberg (1968) Arousal System 1, y localizado en el Sistema Límbico.

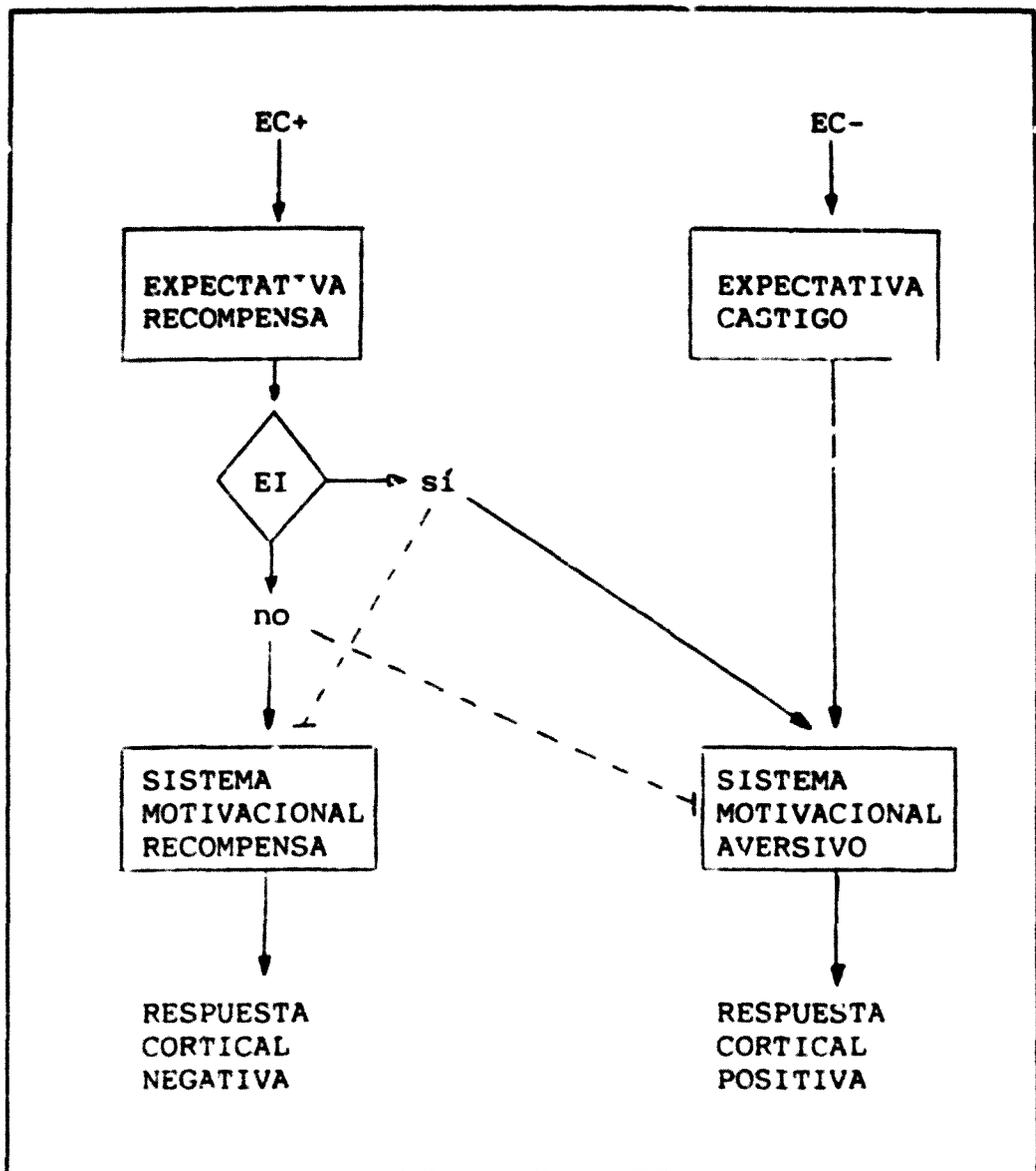


Fig. 2.7. Modelo de generación de los potenciales corticales lentos en la situación CWV propuesto por Howard y cols. (1980).

potencial negativa en el córtex cerebral. En el momento que se obtiene la recompensa o se evita el castigo se produce una inhibición del sistema motivacional de recompensa y desaparece la inhibición que ésta ejercía sobre el sistema motivacional aversivo³, esto se traduce en una resolución de la variación negativa hacia la línea base y una variación positiva post-imperativa.

Este modelo basado en los trabajos previos de Konorski (1972) y Anokhin (1974), supone que conforme aumenta la

³ Denominado por Routtenberg (1968) *Arousal System 2*

recompensa repercutirá en una mayor amplitud de la CNV. Por otra parte si no existe recompensa se producirá una extinción y la CNV tenderá a desaparecer, este fenómeno fue observado por Timsit-Berthier, Geronio y Rousseau (1980). Estos autores informan como en un experimento, varios sujetos cambiaron la polaridad de la onda a consecuencia de la habituación. Timsit-Berthier y su equipo de la Universidad de Lieja, interpretan estos resultados relacionando la amplitud de la CNV con el grado de desincronización del ritmo α durante el intervalo interestimular, por tanto la habituación puede producir una hipersincronización del ritmo α en respuesta al estímulo de aviso, que se traduce en una variación positiva de la onda.

De todas maneras según Howard, Fenton y Fenwick (1980), es difícil que se produzca una total ausencia de recompensa en la situación clásica de registro de la CNV. Primeramente el estímulo incondicional suele ser un tren de 'clics' o 'flashes' que suelen ser aversivos al sujeto, por tanto su evitación mediante una rápida respuesta suele ser una buena motivación. En segundo lugar si se informa al sujeto del tiempo de reacción empleado, este hecho constituye en sí mismo una recompensa.

Siguiendo con el modelo propuesto por estos autores, si se presenta al sujeto un EC- (no hay que hacer ninguna respuesta después de E2), se activará una expectativa hacia la no recompensa o castigo, traduciéndose en una diferencia de potencial positiva a nivel cortical. Este hecho confirmaría los resultados de Small, Milstein y Small (1971) en donde acuñaron el término "Variación Positiva Contingente" (CPV). Por su parte Papakostopoulos (1978) en un experimento en los que combina EC+ y EC- de manera aleatoria, observa como desaparece totalmente la CNV a nivel de la línea base.

Prácticamente la totalidad de los trabajos de este grupo de la Universidad de Belfast se han concentrado en el estudio de la relación entre la CNV y la personalidad (Brown, Fenwick y Howard, 1989)⁴, utilizando para ello pacientes ingresados en el Broadmore Hospital, institución dependiente de la Universidad, y personal instalado en dicho centro, por lo que los resultados obtenidos son, a veces, de difícil generalización. Tienen la particularidad, por otra parte, de haber recogido un testigo, el del condicionamiento pavloviano, en una época en la que la tendencia general, dentro de la psicología, es de abandono de éste, y en el que la psicofisiología busca los correlatos relacionados con los fenómenos que observa dentro de la psicología cognitiva.

2.4.- CNV Y PREPARACION DE LA RESPUESTA MOTORA.

Los estudios de Walter y co., fueron replicados y ampliados por Low, Borda, Frost y Kellaway (1966). Estos autores observaron en sus investigaciones que se producía una notable diferencia en la amplitud de la onda cuando se le pedía al sujeto que realizase algún tipo de respuesta motora, en comparación con otros ensayos en los que se pedía al sujeto que no realizase ninguna acción. Por otra parte, observaron también, que la amplitud de la CNV era directamente proporcional al esfuerzo físico que se realizaba en la ejecución de la tarea motora, este efecto se comprobó en un experimento (Low y McSherry, 1968), en el que el estímulo de aviso (un dígito del 1 al 4) indicaba al individuo la fuerza con la cual debía presionar un botón (1 menor esfuerzo, 3 mayor esfuerzo). La presencia del dígito 4 en el estímulo de aviso indicaba que no se debía

⁴ Consideraron la CNV como un importante instrumento de estudio de la personalidad y la psicopatología, ya que ésta puede permitir el establecimiento de las interacciones que existen en el cerebro entre los procesos excitatorios e inhibitorios, y precisamente el origen de muchas patologías radica en el incorrecto funcionamiento de la relación entre estos dos procesos.

realizar ninguna acción.

Además de en la situación clásica de registro de la CNV, estos autores utilizaron, en sus experimentos, la situación de evitación de Sidman, observando como se generaba una onda eléctrica muy parecida a la obtenida en el clásico experimento CNV, sin que en este último caso existieran ni señales de aviso ni imperativas. Tecce (1972) puntualiza, no obstante, que en este tipo de experimento se obliga a que el sujeto utilice señales internas, que realizarán las funciones de E1 y E2.

Los resultados de Low et al. (1966) conducen a estos autores a realizar una reinterpretación de este potencial lento. De esta manera, consideran que esta onda eléctrica es únicamente el resultado de la preparación del sujeto hacia la respuesta. El hecho de poder observar esta onda negativa fuera del contexto de dependencia E1-E2, hace que esta, por tanto no sea "contingente", sino que será simplemente el reflejo de la intencionalidad del sujeto a realizar una acción motora. Es por ello que proponen la denominación de Variación Negativa de Acción (Conative Negative Variation - CNV).

Esta hipótesis de la preparación de la respuesta motora será la precursora de la visión exclusivamente motriz de la CNV. Rohrbaugh y Gaillard (1983) realizan una revisión de los trabajos realizados por diversos laboratorios que estudian la CNV. Como ya habían puesto de manifiesto en anteriores trabajos (Rohrbaugh, Syndulko y Lindsley, 1976; Rohrbaugh, Syndulko y Lindsley, 1979; Rohrbaugh et al., 1979), consideran la CNV como un conjunto de múltiples ondas.

Denominan a la onda temprana de la CNV "onda 0". Aunque este nombre hace referencia a su relación con la respuesta de orientación, relación, que según los autores,

no ha sido suficientemente probada, es, si no el más adecuado, si el menos restrictivo de cuantos se han propuesto. Así "onda negativa lenta", "negatividad post-onda" y "onda negativa cortical" ignoran los componentes de polaridad positiva que puedan contener, y "onda temprana CNV" ignora el que esta onda puede ser registrada en la situación de un solo estímulo. Diversos informes (Squires, Squires y Hillyard, 1975; Loveless, 1976; Rohrbaugh, Syndulko y Lindsley, 1976) describen ondas similares a esta "onda O" obtenidas por un solo estímulo. Si es registrada en el contexto del paradigma experimental CNV, no se ve afectada al utilizar como variable experimental, la extensión del ISI, por tanto no parece que pueda estar relacionada con la anticipación y expectación hacia el E2, como sugiere Tecce (1972). Sí, en cambio, se ve afectada por las variables que conciernen a E1 (duración, modalidad e intensidad del estímulo, etc.).

Loveless (1976) realizó un experimento de registro de ERPs en el clásico paradigma "oddball". Se pidió a los sujetos que contaran tonos, que se presentaban pocas veces ($p = .25$), de 1000 Hz y que eran presentados conjuntamente con otros tonos de 2000 Hz ($p = .75$). Observa como después del pico que aparece aproximadamente a una latencia de 350 msec., y que identifica con el P300 (Sutton et al., 1965), aparecen en la zona frontal, dos ondas negativas, que

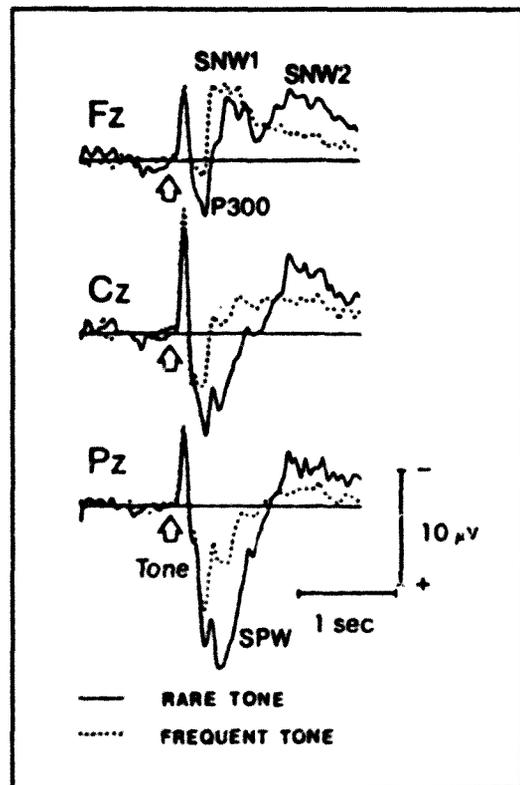


Fig. 2.8. Ondas elicitedas en un experimento "oddball" (Tomado de Rohrbaugh y Gaillard, 1983).

denomina N3 y N4, respectivamente.

El equipo de Rohrbaugh (Rohrbaugh y Gaillard, 1983) replica, en su laboratorio, este experimento, observando efectivamente, en la zona frontal, la aparición de estas dos ondas negativas, que denominarán SNW1 y SNW2. Describen, también, como esta SNW1 desaparece, o es ligeramente de polaridad positiva en la zona central y es claramente positiva, enmascarando incluso el componente P300, en la zona posterior. En este último caso el componente pasa a denominarse SPW (onda positiva lenta). Por su parte la SNW2 es negativa en todas las localizaciones en las que se ha registrado. Las ondas SNW1 y SPW aparecen en una latencia entre 500 y 700 msec., siendo más tardía la aparición de la SNW2 (ver Fig. 2.8). Por otra parte, el componente terminal que aparece, en la situación CNV, previamente a la presentación de E2, no es más que el reflejo de la preparación motora del individuo. Por lo cual, como ya se ha comentado en el apartado 2.2.2, estos autores sugieren que este componente no difiere, en absoluto, de la onda RP.

2.5.- CNV Y ATENCION / DISTRACCION.

Tecce publica en el año 1972 una revisión de los trabajos realizados sobre la CNV. Este trabajo, del que diez años más tarde realiza una revisión y actualización (Tecce y Cattanach, 1982), representa un hito importante dentro de los estudios realizados sobre CNV, ya que, a nuestro entender es la base sobre la que se asentarán los defensores de la existencia de este componente o complejo de componentes, específicos a la situación clásica de apareamiento de estímulos. Por otra parte Tecce es el precursor de una línea de trabajo no tan preocupada en la experimentación básica sino, más bien, en las aplicaciones

clínicas que pudiera tener esta onda, tanto en el diagnóstico de determinadas patologías (sobre todo de tipo psicótico), como del efecto que se produce sobre este fenómeno al emplear psicofármacos.

El hecho de que algunos investigadores (Donchin et al., 1972) hayan observado la presencia de la onda CNV, sin serle requerida al sujeto una respuesta motora, después de la aparición del E2, hace que, contrariamente a lo expresado por el equipo de Rohrbaugh et alts. (1976, 1979, 1980, 1983), no considere el componente que precede a este E2, únicamente como un RP. Tecce acuña el término "complejo CNV" para englobar todos los componentes u ondas negativas que se producen en la situación clásica E1-E2-Respuesta motora (ver Tabla 2.1.).

Según Tecce el complejo se puede dividir en dos épocas:

- la CNV temprana ("E wave"), que está compuesta por la respuesta negativa a E1 (componente de orientación), más la negatividad en anticipación a E2.
- la CNV tardía ("Late CNV") que refleja la negatividad que precede justo antes de presentarse el E2, y que refleja la anticipación a E2 además del potencial de preparación.

Respecto a la significación de los dos componentes en que dividimos la onda, que realizan los diferentes investigadores, Tecce resume tres puntos de vista:

- a) una visión reduccionista de tipo motor en la cual se sostiene que el componente tardío de la CNV, no es más que el potencial de preparación (RP).
- b) una visión motora, no tan radical, que considera que fundamentalmente este componente tardío está formado por este RP.
- c) una visión moderada que considera todo el

Tabla 2.1. Clasificación, propuesta por Tenze y Cattaneo (1982), de los Potenciales Cerebrales Negativos Lentos, basados en el ejemplar E1-E2-Respuesta Motora.

EXPERIMENTO			POTENCIALES NEGATIVOS
E1	E2	RM	
no	no	no	ONDAS NEGATIVAS LENTAS ESPONTANEAS
sí	no	no	NEGATIVIDAD DE RESPUESTA A UN ESTIMULO
no	no	sí	POTENCIAL DE PREPARACION (RP) 1. Negatividad relacionada con el movimiento. 2. Negatividad relacionada con estimulación endógena.
sí	sí	no	CNV 1. Negatividad temprana en respuesta a E1. 2. Negatividad temprana en anticipación a E2. 3. Negatividad tardía en anticipación a E2.
sí	sí	sí	COMPLEJO CNV 1. Negatividad temprana en respuesta a E1. 2. Negatividad temprana en anticipación a E2. 3. Negatividad tardía en anticipación a E2. 4. Negatividad tardía de preparación de la respuesta motora a E2 (RP).

complejo CNV, como una mezcla de los dos componentes RP y "verdadera" CNV.

Los argumentos sobre los que se asientan las dos primeras visiones de tipo "motor" son los siguientes:

1.- "si en los experimentos con largos ISIs, extraemos el componente temprano, la onda negativa que nos queda es prácticamente igual al potencial de preparación" (Weerts y Lang, 1973; Loveless y Sanford, 1974; Rohrbaugh et alts, 1976).

Teniendo en cuenta que el tiempo de reacción es un indicador de la preparación motora, si esta negatividad que

queda sólo refleja preparación motora, no tendría porque observarse una latencia mayor en el tiempo de reacción cuando el ISI es más grande, como se ha demostrado en diversos experimentos (Gaillard, 1978).

2.- "si no se exige respuesta motora, el componente tardío de la CNV desaparece"(Gaillard, 1978).

Este argumento es origen de mucha controversia, ya que muchos autores han observado la formación del complejo sin necesidad de que exista respuesta de tipo motor (Cohen y Walter, 1966; Donchin et al., 1972; Low y Fox, 1977; Ruchkin et al., 1986).

3.- "tanto la CNV como el RP presentan similares características, con máxima amplitud sobre el córtex motor y con diferencias interhemisféricas, presentando mayor amplitud en el hemisferio contralateral al lado en que se realiza la respuesta".

Aunque todos los investigadores se muestran de acuerdo en la distribución antero-posterior de la CNV tardía, no ocurre lo mismo con el grado de lateralización, algunos autores (Grünwald-Zuberbier et al., 1981) han descrito simetría entre los dos hemisferios, e incluso (Syndulko y Lindsley, 1977) han observado asimetría, pero con dominancia ipsilateral al lado que realiza la acción. De todas formas estos argumentos no son concluyentes ya que hubiera sido necesario poder demostrar, sujeto a sujeto, cual es el hemisferio dominante en la tarea que se utiliza, en el caso de que este presente una lateralización clara de las funciones sensorio-motrices.

4.- "cuanto mayor es el esfuerzo necesario para realizar la respuesta motora, mayor será la amplitud de la CNV".

Rebert et al (1967) realizaron un experimento en el que el estímulo de aviso indicaba al sujeto la fuerza que debía realizar al presionar un botón, observando como aumenta la amplitud de la CNV conforme aumenta la presión realizada.

Esta visión reduccionista "motriz", hace que algunos autores (Vaughan, 1975) tengan la sensación de que "para este viaje no hacían falta tantas alforjas", si se nos permite la expresión. Si la CNV simplemente nos está indicando la preparación del movimiento, y la psicología ya venía utilizando el tiempo de reacción como índice de la preparación de la acción, es mucho más sencillo, y no exige el uso de aparatos tan sofisticados, el estudio de las distribuciones de TR que estudiar la CNV.

De todas formas, la relación entre la CNV y el TR es objeto de controversia, mientras algunos autores consideran que hay relación entre las dos medidas (Gaillard y Perdok, 1980; Grünewald et alts., 1979; Deecke, Niesser y Ziller, 1980), otros laboratorios no han podido constatar tal relación (Rebert y Tecce, 1973), además hay que señalar que la correlación más alta obtenida entre estas dos medidas es la encontrada en el trabajo de Deecke, Niesser y Ziller (1980), siendo esta de $r = -0.62$, lo que proporcionaría un coeficiente de determinación $R^2 = 0.38$, quedando por tanto un 62% de variancia no explicada. Existe el problema adicional de que, así como la medida de la latencia entre la aparición del estímulo imperativo y la acción realizada por el sujeto, está clara, no ocurre lo mismo con la medida de la amplitud de la CNV, utilizando según los autores, diferentes indicadores de la negatividad aparecida (ver ap. 3.2.3).

Tecce et al. (1983) presentaron un experimento en el que se demostraba la disociación existente entre la alteración de la fuerza muscular, medida mediante el EMG, y la amplitud de la CNV, lo cual es contradictorio con el 4 punto de las tesis "motrices" que hemos comentado anteriormente. El experimento, realizado con 24 sujetos, consistió en el registro de la CNV en un experimento clásico, en el que un flash (E1) es seguido 1,5 seg. después por un tono continuado (E2) que desaparecía al

presionar el sujeto un botón. Una vez registrada la onda y medidos los tiempos de reacción en esta situación, que era la control, al mismo grupo de sujetos se les pidió que realizasen dos tipos de esfuerzos musculares mientras se realizaban los registros en la situación antes mencionada. El primero de los esfuerzos consistía en mantener el puño de la mano contraria a la que realizaba la acción, fuertemente apretado, durante todo el ensayo. El segundo consistió en mantener, mientras duraba la época de registro, una posición forzada con la cabeza echada hacia delante, manteniendo el cuello en una postura incómoda y en tensión.

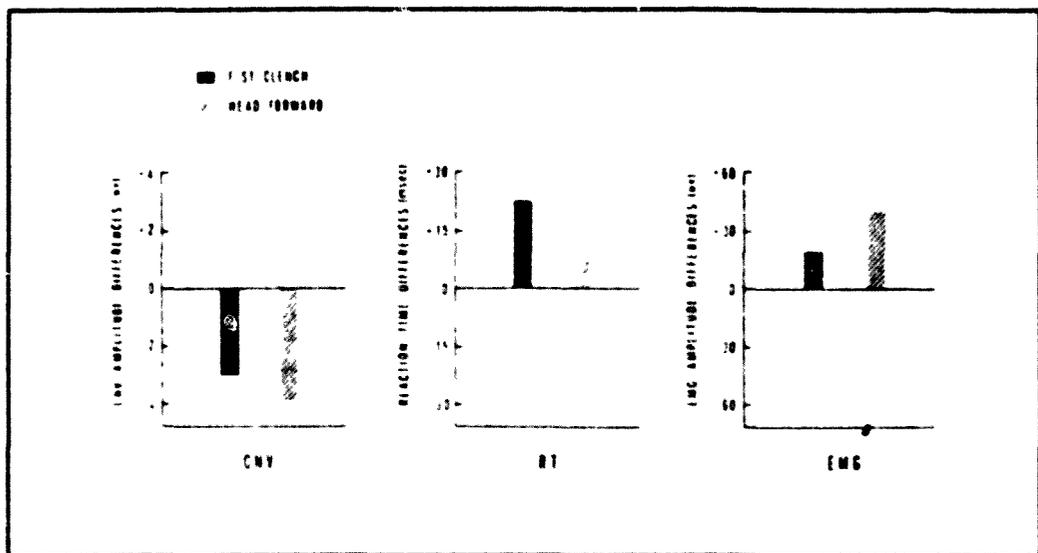


Fig. 2.9 Disociación entre las amplitudes de la CNV y el EMG (Tomado de Tecce et al., 1983).

En la fig. 2.9 se observan las diferencias que se produjeron en la actividad electromiográfica, la CNV y el TR, entre estas dos situaciones y la control. Se puede comprobar como al aumentar la fuerza muscular, disminuye la CNV y aumenta el tiempo de reacción, efecto contrario al que cabría esperar, según Tecce, si la CNV estuviera relacionada, exclusivamente, con la preparación del movimiento. Las conclusiones de este experimento, de todas maneras, son a nuestro juicio discutibles. En primer lugar el incremento de fuerza muscular no está encaminado a la realización de la acción, aunque sí predispone al

organismo, al aumentar el nivel basal de tensión necesaria para ella, pero es posible que la amplitud de la CNV disminuya por la LIV (Ley del Valor Inicial, Lacey, 1967; Lacey y Lacey, 1970 - ambos artículos reimpresos en Coles, Jennings y Stern, 1984), o sea, al aumentar el EMG aumentará el nivel basal de negatividad en las zonas sensorio-motrices, con lo que la CNV (como respuesta) comenzará a niveles más elevados, produciéndose, lo que se conoce como efecto "techo", y por tanto reduciéndose su amplitud. En segundo lugar, la misma tarea puede producir al sujeto un estado de distracción o fatiga psíquica o muscular que produzca las alteraciones observadas en la amplitud de la CNV y la latencia de respuesta, y en tercer lugar no se produce una disociación entre la CNV y el TR.

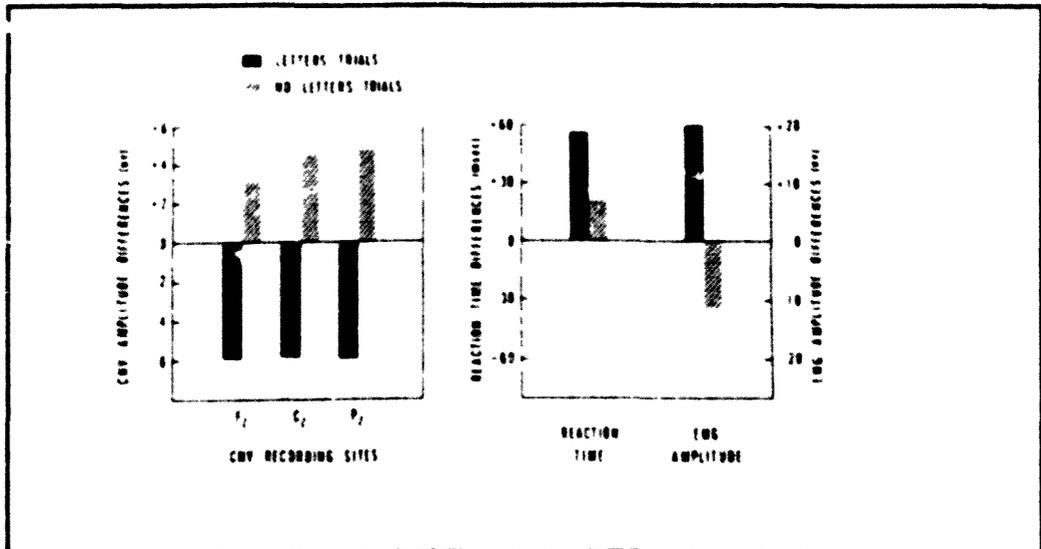


Fig. 2.10 Diferencias en amplitud CNV, EMG y RT entre los ensayos de control y las otras dos situaciones utilizadas en el experimento (Tomado de Tecce y Cattanach 1982)

En un segundo experimento, presentado por estos autores, vuelven a observar disociación entre la actividad electromiográfica y la amplitud de la CNV, es el siguiente. La investigación se realiza sobre 35 sujetos, siendo la tarea de control el registro de la onda CNV, el EMG y el TR, en la misma situación clásica, que en el experimento descrito anteriormente (ISI = 1,5 seg.). Posteriormente se registraron las mismas variables en dos tipos de ensayos presentados aleatoriamente, en una tarea de atención

selectiva. En un caso se presentaban, durante el intervalo E1-E2, letras que el sujeto tenía que memorizar, en el segundo caso se omitían estas letras, por tanto igual a la situación control. En la fig. 2.10 se pueden observar las diferencias en cada una de las variables registradas, entre los ensayos de control y los otros dos tipos de ensayos experimentales. En el cuadro de la izquierda vemos como la tarea distractora que supone la inclusión de las letras en el intervalo interestimular, conlleva una disminución en la amplitud de la CNV, mientras que cuando no aparecen las letras se produce un aumento de la amplitud de la onda. Comparando estos resultados con el cuadro de la derecha, vemos que en este experimento se vuelve a producir una disociación entre la amplitud de la onda y los valores de EMG. De todas formas el resultado más inesperado, es el aumento en el tiempo de reacción que se produce en los ensayos en los que no aparece la tarea distractora. Por tanto no se observa la correlación negativa entre amplitud de CNV y TR, que sería de esperar si las dos estuvieran midiendo lo mismo, preparación de movimiento.

El experimento anterior produce un resultado inesperado. En efecto, en aquellos ensayos en los que no está presente la tarea distractora, la amplitud de la CNV no alcanza los niveles observados en los ensayos de control, sino que aumenta la negatividad. Este fenómeno, denominado por estos autores "efecto rebote", e interpretado como producto de la atención dividida del sujeto hacia el procesamiento de las letras y hacia la preparación de la respuesta al segundo estímulo. Por tanto este aumento del esfuerzo atencional, hace que en aquellos ensayos en los que no es "consumida" la atención necesaria para el recuerdo, aparezca este aumento en la amplitud de la curva.

Tecce, Cattanach y Branconnier (1986) determinan que este efecto rebote es característico de la población adulta

sin problemas psicopatológicos, produciéndose una atenuación de éste, conforme el sujeto envejece. No siendo posible la detección de este efecto en sujetos que han padecido lesiones cerebrales. Hubiera sido interesante, que el autor, hubiese tenido en cuenta el tipo, localización y afectación de estas lesiones para conseguir una mayor información para poder interpretar este fenómeno.

Los experimentos comentados, conducen a Tecce y Cattanach (1982) a confirmar el doble modelo teórico propuesto por el primero de ellos. Tecce (1972) establece dos variables psicológicas, separadas, pero relacionadas que influyen en el desarrollo de la CNV. Por una parte la atención, la cual estará relacionada de forma lineal y directa con la amplitud alcanzada por la CNV. Por otro lado el nivel de activación ("arousal") del sujeto presenta una relación no lineal (en forma de U invertida) con la magnitud de la CNV. Este modelo explicaría el aumento/descenso de la amplitud de la onda al utilizar determinados psicofármacos (por ejemplo: Dextroanfetamina, Tecce y Cole, 1974; Oxido Nitroso, Fenwick et al., 1979; Flupentixol^o, Rösler et al., 1985; diferentes drogas psicotrópicas, Münte, Heinze y Künkel, 1986). El nivel de activación del individuo explicaría también las diferencias observadas entre la magnitud de la CNV en función de su nivel de extraversión (Dincheva, Piperova-Dalbokova y Kolev, 1984; Piperova-Dalbokova y Dincheva, 1984). Así como el aumento de atención provocada por la utilización de estímulos imperativos aversivos (Dubrovsky y Dongier, 1.978), también se traduce en un aumento de la amplitud de la CNV.

La dificultad que supone la cuantificación de una variable como la atención, conduce a Tecce, Savignano-Bowman y Meinbresse (1976) a formular la hipótesis de la distracción-arousal. Estableciendo un modelo circular de relación entre ambas variables y su efecto sobre 'u

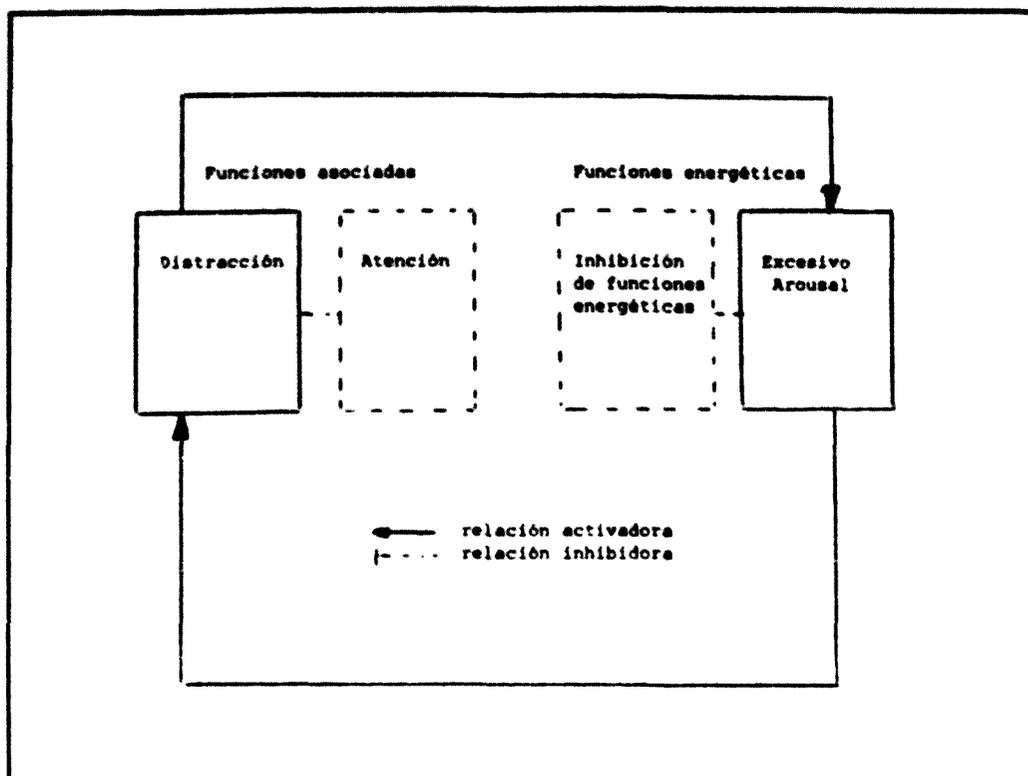


Fig 2.11 Modelo de distracción-arousal propuesto por Tecce et al. (1976) (Adaptado de Tecce y Cattanach, 1982).

amplitud de la CNV (ver fig. 2.11). La distracción tiende a elevar el nivel de activación, mientras que altos niveles de activación producen distracción. Esto crea un círculo vicioso que podrá ser modificado, o bien aumentando la atención, focalizando y centrando ésta (atención consciente, Posner, 1978; Eysenck, 1985), o bien reduciendo el nivel de activación, mediante drogas sedantes o técnicas de relajación. La incapacidad de mantener la atención, producto de algunas psicopatologías (ej. esquizofrenia), hace que en este tipo de pacientes presenten amplitudes de la CNV difícilmente diferenciables de la línea base (Shagass, 1972; Knott y Tecce, 1.978).

2.6.- CNV Y MOTIVACION - FEEDBACK.

Irwin et al. (1966) de la Universidad de Iowa, sugieren que la amplitud de la CNV variará de forma directamente proporcional con el nivel de motivación del individuo. Para comprobar este hecho elaboran un experimento en el cual manipulan la intensidad del estímulo imperativo y observan como la negatividad de la onda es más pronunciada conforme la intensidad se aproxima a los dos extremos, tanto si el estímulo es extremadamente aversivo para el sujeto, como si se encuentra cerca del umbral de percepción, y por tanto se hace muy difícil la detección de éste por parte del individuo. El mismo grupo de investigadores realiza una serie de experimentos donde se demanda al sujeto para que intente regular, por sí mismo, el nivel de la amplitud de la CNV. Concretamente se les pide que se concentren en "bajas CNVs" y/o "altas CNVs", encontrando que realmente, se producían decrementos y/o incrementos en la amplitud de las ondas registradas.

Estos estudios pioneros en la utilización de la autoregulación del nivel de negatividad cortical, han sido reemprendidos y perfeccionados, en fechas más recientes, por un grupo de investigadores de la Universidad de Tübingen (Alemania). En concreto elaboraron un elegante diseño experimental en el cual el sujeto regula el nivel del SCP, con la única ayuda del feedback constante de sus resultados, que se le presentaba (Elbert et al., 1980; Birbaumer et al., 1981; Lutzenberger et al., 1982; Rockstroh et al., 1984; Birbaumer et al., 1986; Elbert, Birbaumer y Rockstroh, 1990). El experimento consistió en situar al sujeto frente a un monitor, en el cual aparecía un móvil que atravesaba la pantalla, de izquierda a derecha, invirtiendo 6 segundos para ello. El móvil aparecía en el centro de la pantalla por la parte izquierda, pudiendo dirigirse hacia la parte superior derecha o hacia la parte inferior derecha (ver fig. 2.12).

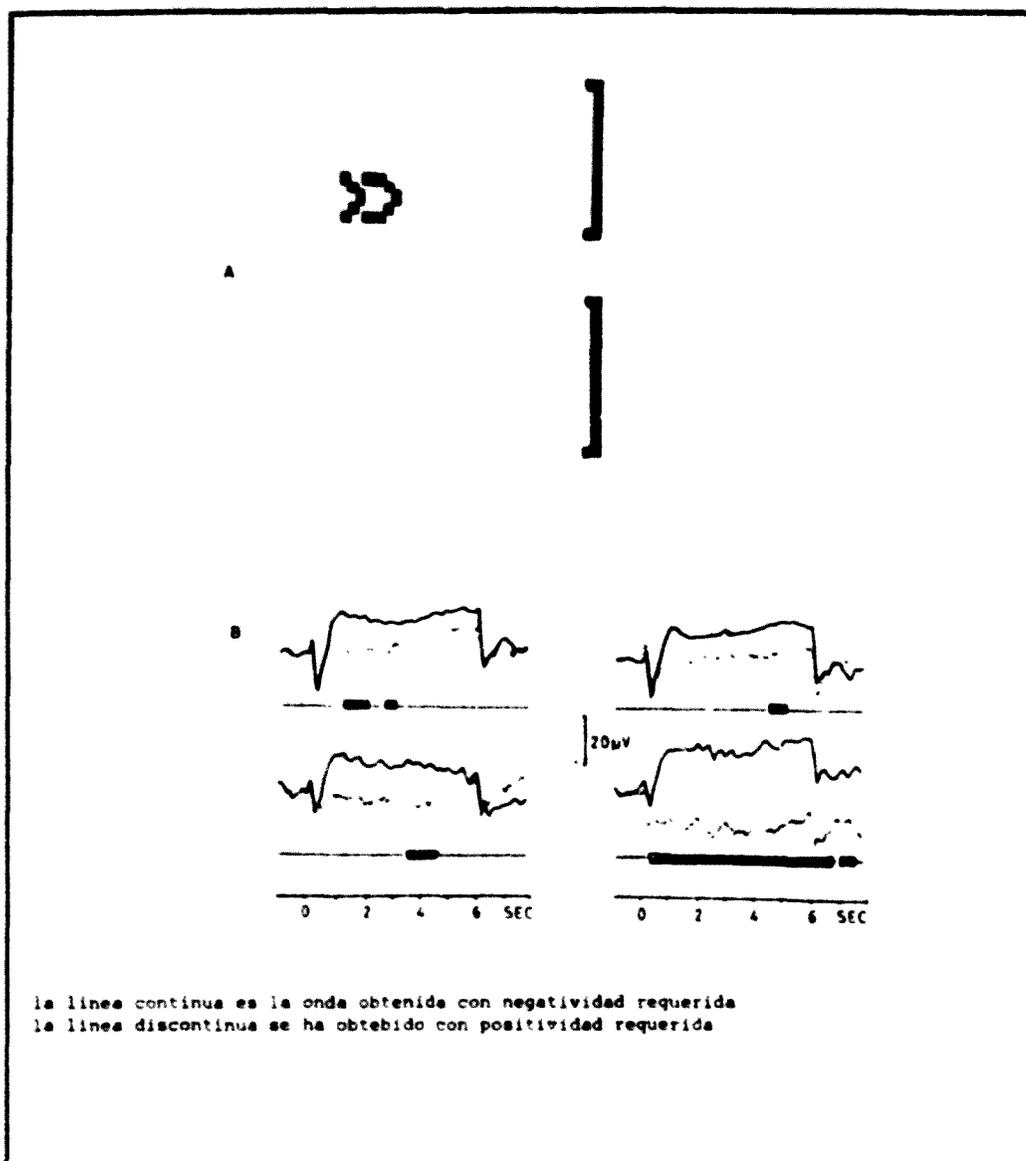


Fig. 2.12. A) Representación del monitor de TV; B) SCPs promedio de 4 series, las marcas inferiores, indican las diferencias significativas ($p < .05$) entre las dos ondas. (Tomado de Eibert et al. 1960).

La trayectoria del móvil estaba dirigida por la amplitud producida por el sujeto, durante el tiempo transcurrido en atravesar la pantalla. De esta manera, reflejaron que los sujetos podían cambiar su nivel de potencial cortical, hacia mayor o menor negatividad. Por tanto, el biofeedback, en este caso aumenta la motivación del sujeto, siendo éste último el constructo psicológico principalmente relacionado con la CNV.

Paralelamente, en la Universidad de Tilburg (Holanda), se realizaron una serie de experimentos, también relacionados con el feedback presentado al individuo (Damen y Brunia, 1987; Brunia, 1988; Brunia y Damen, 1988). El diseño experimental consiste en solicitar al sujeto que realice una acción motora voluntaria, posteriormente debe estimar un lapso de tiempo de 20 segundos, tras los cuales, deberá a volver a repetir la acción motora inicial. Al cabo de 4 segundos se le presentan al sujeto una combinación de 9 LEDs⁵ dispuestos en forma de cruz, que le informan de los resultados obtenidos. Presentando el signo menos si no ha espereado el tiempo suficiente, el signo más si ha sobrestimado éste y una barra vertical si la estimación ha sido correcta (20 + 22 seg.). El LED central se mantiene siempre encendido, para que el sujeto fije la mirada en él.

Estos experimentos están basados en otros previos; por una parte los realizados por Brunia y Vingerhoets (1981) en los que se combinan los experimentos típicos de elicitación del RP y la CNV, y por otro lado en los realizados por Lacey y Lacey (1977) en los que se registran, en los mismos ensayos, CNV y tasa cardíaca (HR). Lacey y Lacey (1977) detectaron que , en los experimentos de tiempo de reacción con anteperiodo de aviso, se produce, dentro del ISI, una inicial aceleración del ritmo cardíaco seguida de una deceleración, justo antes de realizar la respuesta motora. Esta deceleración del HR es interpretada, por estos autores, como un signo de la preparación motora y de la anticipación al estímulo imperativo. Damen y Brunia (1987), utilizando el diseño experimental anteriormente comentado, registran además de la onda EEG, la HR, constatando que precedente al movimiento, aparece un componente RP y una deceleración del ritmo cardíaco. De la misma manera, precedente al feedback visual presentado, aparece también una onda negativa y una deceleración del HR.

⁵ Fuentes luminosas que no presentan recencia.

Esta onda negativa, bautizada por los autores como negatividad precedente al estímulo (SPN), debido a que en este caso no se presenta precedente a un movimiento, consideran que estaría relacionada con la anticipación al estímulo de feedback. Hipotetizando, que podía ser un componente que se sobrepone al RP, formando la onda CNV tardía en el clásico experimento CNV. Estudiando su distribución topográfica observan que es diferente de la presentada por el componente RP, ya que mientras este último, si la acción ha sido realizada con la mano, siempre presenta dominancia del hemisferio contralateral, la SPN siempre presenta dominancia del hemisferio derecho (Brunia y Damen, 1988).

Damen y Brunia (1990) realizan un experimento, en el cual, al mismo grupo de sujetos se les registra el EEG en tres situaciones: a) movimiento seguido de feedback (KR - conocimiento de resultados); b) movimiento voluntario simple (VM - movimiento voluntario); c) experimento clásico CNV (IS - presencia de estímulo imperativo).

Los resultados obtenidos en el experimento KR son los mismos que los obtenidos en anteriores investigaciones, ya comentadas. Al sustraer el potencial precedente al movimiento (RP), obtenido en los ensayos VM, de la onda previa a la aparición del E2 en los ensayos IS, comprueban como la onda desaparece totalmente. Mientras que el mismo sujeto en los ensayos del experimento KR, siempre presenta un potencial negativo de dominancia del hemisferio derecho. Por tanto concluyen que no puede considerarse presente la SPN, en la última parte de la onda CNV, como habían supuesto, cuestionando que este componente sea un correlato cortical de los procesos de anticipación al estímulo.

El hecho de que la SPN aparezca en la situación de feedback, hace que estos autores consideren que este potencial negativo aparecerá en situaciones en las que se

resuelva incertidumbre. Así, su hipótesis actual de trabajo (Damen, 1992, comunicación personal), supone que la SPN aparecerá siempre en dos tipos de experimentos:

a) experimentos E1 ... E2 . R ... Feedback

- donde existen al menos 2 posibles respuestas,

- por tanto existen dos posibles señales feedback.

b) tareas de predicción R E1 E2

- donde existen al menos dos posibles respuestas de predicción,

- si el E1 resuelve la predicción hecha en R, entonces pre-E1 aparecerá SPN,

- si el E2 resuelve la predicción, entonces pre-E2 aparecerá la onda SPN,

- si E1 + E2 resuelven la predicción, entonces SPN aparecerá previamente al E2.

Una vez realizada esta breve, y naturalmente no exhaustiva, visión de los estudios realizados sobre el potencial lento CNV y los posibles constructos psicológicos relacionados con éste, haremos un repaso en el próximo capítulo, a las dificultades presentadas por el registro y análisis, propias de este componente, y en general de los SCPs.