



UNIVERSITAT_{DE}
BARCELONA

Análisis del componente N400: estudio de diferentes formas de incongruencia

María Isabel Núñez Peña



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 4.0. Espanya de Creative Commons**.

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 4.0. España de Creative Commons**.

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0. Spain License**.

Departament de Metodologia de les Ciències del
Comportament

Facultat de Psicologia

Universitat de Barcelona

ANÁLISIS DEL COMPONENTE N400:
ESTUDIO DE DIFERENTES FORMAS DE
INCONGRUENCIA

María Isabel Núñez Peña

Tesis doctoral dirigida por:

Dra. María Luisa Honrubia Serrano
Dr. Joan Maria Malapeira Gas



BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA¹²



0700935390

Julio de 2001

ÍNDICE

1. Introducción	5
2. ¿Qué son los potenciales relacionados con el evento?	11
3. Negatividades en el rango de los 400 milisegundos.....	21
3.1. Negatividades tardías en tareas que implican procesamiento semántico.....	23
3.1.1. Procesamiento semántico de material verbal.....	24
3.1.1.1. Procesamiento de sentencias.....	25
3.1.1.1.1. Modalidad de presentación	28
3.1.1.1.2. Verificación de sentencias	29
3.1.1.1.3. Posición de la palabra dentro de la sentencia	30
3.1.1.1.4. Tipo de palabra	31
3.1.1.1.5. Estructura sintáctica	33
3.1.1.2. Procesamiento de palabras aisladas	35
3.1.1.2.1. Preparación semántica usando listas de palabras	35
3.1.1.2.2. Tipo de palabra	36
3.1.1.2.3. Modalidad de presentación	38
3.1.1.3. Topografía y latencia de estos N400s	39
3.1.2. Procesamiento semántico de material no-verbal	41
3.1.2.1. Dibujos	41
3.1.2.2. Tareas tipo Stroop	43
3.1.2.3. Estímulos olfativos.....	46
3.1.2.4. Topografía y latencia de estos N400s	47
3.2. Negatividades tardías en tareas que no implican procesamiento semántico.....	48

3.2.1. Procesamiento no-semántico de material verbal	50
3.2.1.1. Verificación de sentencias	51
3.2.1.2. Rima.....	54
3.2.1.3. Anomalías sintácticas	55
3.2.1.4. Topografía y latencia de estos N400s	57
3.2.2. Procesamiento no-semántico de material no-verbal	59
3.2.2.1. Música	60
3.2.2.2. Rotación mental	63
3.2.2.3. Caras.....	65
3.2.2.4. Números	67
3.2.2.5. Topografía y latencia de estos N400s	69
3.3. Propuesta integradora de Pritchard, Shappel y Brandt.....	70
3.4. Similitudes y diferencias entre las distintas N400s	73
4. Objetivo de esta investigación	91
5. Primer experimento: Categorías semánticas.....	95
5.1. Introducción.....	95
5.2. Método	98
5.2.1. Sujetos	98
5.2.2. Estímulos	98
5.2.3. Procedimiento.....	101
5.2.4. Adquisición de datos	104
5.2.5. Análisis de datos	104
5.3. Resultados	106
5.3.1. Análisis descriptivo de los datos de la prueba de recuerdo y de la prueba de reconocimiento.....	106
5.3.2. Análisis del <i>Número de errores</i>	107
5.3.3. Análisis de los ERPs	107
5.3.3.1. N400	112
5.3.3.2. P600.....	116
5.4. Discusión	118
6. Segundo experimento: Tarea tipo Stroop.....	123
6.1. Introducción.....	123
6.2. Método	128
6.2.1. Sujetos	128
6.2.2. Estímulos	128

6.2.3. Procedimiento.....	129
6.2.4. Adquisición de datos	131
6.2.5. Análisis de datos	131
6.3. Resultados	132
6.3.1. Análisis de las variables <i>Tiempo de reacción</i> y <i>Número de errores</i>	132
6.3.2. Análisis de los ERPs	134
6.3.2.1. N400	134
6.3.2.2. P600.....	141
6.4. Discusión	143
7. Tercer experimento: Verificación de sentencias.....	147
7.1. Introducción.....	147
7.2. Método	152
7.2.1. Sujetos.....	152
7.2.2. Estímulos	152
7.2.3. Procedimiento.....	153
7.2.4. Adquisición de datos	155
7.2.5. Análisis de datos	155
7.3. Resultados	156
7.3.1. Análisis del <i>Número de errores</i>	156
7.3.2. Análisis de los ERPs	157
7.3.2.1. N400	157
7.3.2.2. P600.....	158
7.4. Discusión	164
8. Cuarto experimento: Series de números	169
8.1. Introducción.....	169
8.2. Método	173
8.2.1. Sujetos.....	173
8.2.2. Estímulos	174
8.2.3. Procedimiento.....	174
8.2.4. Adquisición de datos	177
8.2.5. Análisis de datos	177
8.3. Resultados	178
8.3.1. Análisis del <i>Número de errores</i>	178
8.3.2. Análisis de los ERPs	179

8.3.2.1. N400	185
8.3.2.2. P600.....	189
8.4. Discusión	191
9. Conclusiones	195
9.1. Naturaleza del componente N400.....	196
9.2. Efecto de la emisión de una respuesta manifiesta	198
9.3. Comentario general sobre la investigación con ERPs	200
Referencias bibliográficas	203

1. INTRODUCCIÓN

Vamos a comenzar presentando una visión general del contenido de esta tesis. Nuestro objetivo es ofrecer una primera perspectiva de lo que se irá exponiendo a lo largo de los capítulos. Daremos ahora respuesta a las cuatro cuestiones clave que componen cualquier proceso de investigación. Primero, el marco en el que se inserta este trabajo; segundo, cómo se origina, es decir, cuál es el problema del que se ocupa; tercero, de qué manera este problema se concreta en un objetivo de investigación; y, finalmente, cuál ha sido el procedimiento que hemos seguido para alcanzar dicho objetivo. A continuación explicaremos cada una de estas cuestiones.

¿En qué marco de investigación se inserta esta tesis?

A finales de los años 80 y principios de los 90, un grupo de investigadores del departamento de Metodología de las Ciencias del Comportamiento de la Universidad de Barcelona elaboró varios trabajos en el campo de la Neurociencia Cognitiva (Coscolluela, 1992; Honrubia, 1989; Salafranca, 1991; Solanas, 1990; y, Turbany, 1992). Esta línea de investigación había sido impulsada unos años antes por el Dr. Arnau Gras, catedrático del mismo departamento. Nuestro estudio pretende dar continuidad a aquellos trabajos, y, en concreto, enlaza con la tesis de la Dra. Honrubia. Esta autora realizó una amplia revisión teórica de los potenciales relacionados con el evento en el campo del procesamiento verbal y expuso una serie de problemas que había que resolver. Una de las preguntas que lanzó en su trabajo es la que originaría años después éste. La cuestión es la que sigue: ¿Es el N400 un

indicador del procesamiento del lenguaje o, por el contrario, es un indicador de desapareamiento general?

¿Cuál es el problema que intentábamos resolver?

Hasta el año 1989, fecha en que la Dra. Honrubia defendió su tesis, se habían publicado varios artículos sobre el componente N400. La controversia era la siguiente. Por una parte, un grupo, liderado por los descubridores de este componente —Hillyard y Kutas—, lo concebía como un indicador específico del procesamiento lingüístico; su N400 aparecía siempre que se presentaba una incongruencia semántica y su amplitud variaba dependiendo del grado de la misma. Por otra, otro grupo de investigadores había obtenido ondas negativas equiparables al componente N400 ante incongruencias en tareas no lingüísticas. En definitiva, el problema estaba servido y era necesario intentar delimitar y precisar la naturaleza de este componente.

La revisión teórica nos ha mostrado que en la actualidad la cuestión todavía está por resolver. De un lado, siguen publicándose muchos artículos en los que se insiste en que el componente N400 es exclusivamente semántico. De otro, algunos autores hablan de un componente N400 aritmético (Niedeggen & Rösler, 1996, 1999; Niedeggen, Rösler & Jost, 1999), e, incluso, otros de un N400 asociado al procesamiento de caras (Bobes, Valdes-Sosa & Olivares, 1994; Olivares, Bobes, Aubert & Valdes-Sosa, 1994; Olivares, Iglesias & Bobes, 1998). Pero, todavía hay más: dos artículos muy recientes presentan ondas tipo N400 que aparecen cuando hay discordancia en estímulos olfativos (Grigor, Van Toller, Behan & Richardson, 1999; Sarfarazi, Cave, Richardson, Behan & Sedgwick, 1999). En suma, todo parece indicar que el componente N400 no sólo se obtiene ante incongruencias semánticas, sino, también, ante otro tipo de incongruencias; por lo tanto, quizá este componente no sea más que un indicador de la detección de una contradicción entre la información esperada y la percibida.

¿Cuál era el objetivo de nuestra investigación?

Dada la problemática expuesta en el apartado anterior, nuestro objetivo era el siguiente: establecer cuáles son las semejanzas y diferencias entre las distintas

ondas N400s e intentar determinar si reflejan o no un mismo proceso psicológico. Para alcanzarlo hemos realizado varios experimentos en los cuales se presentaron distintos tipos de incongruencia; después, comparamos las ondas en cuanto a su latencia, amplitud y topografía.

La revisión teórica nos llevó a detectar la necesidad de realizar todos los experimentos bajo condiciones estándar —tanto de registro como de análisis— para asegurar la comparabilidad de las ondas obtenidas. En el marco teórico se exponen distintos estudios que presentan diferencias importantes en cuanto a cómo se han registrado los potenciales y cómo se han analizado. Tales diferencias dificultan e incluso imposibilitan la comparación entre ellos. Por ejemplo, respecto del registro, a veces hay respuesta motora por parte del sujeto, a veces no la hay; los filtros no siempre son iguales; la tasa de muestreo, tampoco; ni siquiera las localizaciones. Pero es más: tampoco hay un estándar en cuanto al análisis. En cuanto a este último punto, existen diferencias en varios aspectos: en el criterio para rechazar ensayos con movimientos oculares; en el establecimiento de la línea base; respecto a si se promedian todas las respuestas o sólo las correctas; a veces se escalan los datos siguiendo el procedimiento de McCarthy y Wood (1985), a veces no; incluso hay variaciones en las ventanas de latencia analizadas. En conclusión, creímos que para determinar si todas las ondas N400s son o no el mismo componente, era importante que su comparación se realizara tras obtenerlas en situaciones estándar. Ésta es, en definitiva, una de las aportaciones de nuestra investigación: la obtención de todas las ondas negativas en una situación estandarizada, lo que garantiza su comparabilidad.

¿De qué manera hemos alcanzado nuestro objetivo?

Como indicábamos anteriormente, hemos realizado varios experimentos en los cuales se presentaron distintos tipos de incongruencia; posteriormente, comparamos las ondas registradas en cuanto a su latencia, amplitud y topografía.

En concreto, nos planteamos cuatro experimentos:

- Primero: debíamos obtener una onda N400 semántica clásica puesto que nuestra intención era compararla con otras ondas N400s. Para ello,

realizamos un experimento en el cual se presentaron al sujeto series de palabras pertenecientes a una misma categoría semántica. Al finalizar cada serie aparecía una palabra que o bien pertenecía a la categoría de las anteriores o bien era incongruente con ellas. Se obtuvo una onda N400 en la condición de incongruencia.

- Segundo: llevamos a cabo otro experimento con una tarea tipo Stroop. El material expuesto a los participantes eran palabras escritas en distintos colores; su tarea consistió en decidir si la palabra coincidía o no con el color. Una negatividad tardía apareció siempre que la palabra y el color no coincidían.
- Tercero: trabajamos con una tarea de verificación de sentencias similar a una de las utilizadas por Fischler, Childers, Achariyapaopan y Perry (1985). El experimento consistió en lo siguiente: los participantes debían aprender una lista de frases en las que se asociaba el nombre de una persona a una profesión —frases del tipo *María es abogado*—; a continuación, se pedía a los sujetos que verificaran una serie de sentencias presentadas en el ordenador. Se obtuvo una negatividad en el rango de los 400 ms ante sentencias falsas.
- Cuarto: elaboramos series de números con final congruente o incongruente. De igual modo que en el primer experimento, se pedía a los participantes que indicaran si el último número presentado era congruente o no con la serie que lo precedía. En esta ocasión, obtuvimos una negatividad con pico aproximadamente en los 270 ms al presentar incongruencias.

En resumen, el objeto de esta tesis es estudiar la posible especificidad de uno de los componentes de los potenciales relacionados con el evento: la onda denominada N400. Como veremos a lo largo de la revisión teórica, la onda N400 parece ser un componente específico del procesamiento semántico; sin embargo, también han aparecido picos negativos en el mismo rango de latencia ante tareas que no implican este tipo de procesamiento. Así, pues, el tema es controvertido. En las páginas siguientes profundizaremos en la polémica e intentaremos echar un poco de luz sobre el origen de esta onda. Daremos comienzo a la exposición ofreciendo al lector un breve capítulo introductorio al tema de los potenciales evocados. Después presentaremos, ahora sí con detalle, la evolución histórica de la onda objeto de esta tesis: el componente N400. Nos desplazaremos desde su descubrimiento, en el año

1980, hasta la actualidad. Comprobaremos cómo a pesar de tratarse de un componente cuyo descubrimiento es relativamente reciente, la producción científica que ha originado es considerable: muchos son los trabajos de investigación que hay en torno a este componente, y también es numerosa la reflexión teórica en cuanto a los procesos cognitivos implicados en su aparición.

2. ¿QUÉ SON LOS POTENCIALES RELACIONADOS CON EL EVENTO?

A partir de ahora nos referiremos a los potenciales relacionados con el evento mediante las siglas ERP, procedentes de la expresión inglesa *event-related potential*. El motivo de esta decisión es simple: puesto que la mayor parte de la investigación en este campo está publicada en lengua inglesa nos pareció más oportuno referirnos a ellos usando la nomenclatura anglosajona.

Existen bastantes trabajos en los que se pueden encontrar detalladas introducciones de los ERPs (Coles, Gratton & Fabián, 1990; Coles & Rugg, 1995; Garnsey, 1993; Kutas & Dale, 1997; Kutas & Van Petten, 1994; entre otros); no obstante, consideramos que es útil detenernos aquí un poco para hacer una sucinta presentación de la temática general antes de adentrarnos en aspectos más concretos. Expondremos brevemente qué es un ERP; cuál es el procedimiento que hay que seguir para obtenerlo; cuáles son sus características definitorias; cómo suelen clasificarse; y, finalmente, qué información nos aportan, es decir, cuál es su utilidad.

¿Qué es un potencial relacionado con el evento? Coles y Rugg (1995) dicen que se trata de fluctuaciones en el voltaje del electroencefalograma (EEG) provocadas por eventos sensoriales, motores o cognitivos. En efecto, se ha observado que tras la presentación de un determinado tipo de estímulo o la realización de alguna tarea se producen cambios constantes en el EEG. Estos cambios adoptan la forma de picos —polaridad positiva— o valles —polaridad negativa— y se supone que nos

informan acerca de los procesos cognitivos que subyacen. En cuanto al sustrato fisiológico de los ERPs, se sabe que la actividad eléctrica registrada en el cuero cabelludo es la suma de los potenciales post-sinápticos generados por la despolarización e hiperpolarización de las células cerebrales. No entraremos aquí a explicar los detalles de la fisiología de los ERPs, por lo que remitimos al lector interesado en esta cuestión, por ejemplo, a los trabajos de Allison, Wood y McCarthy (1986), Nunez (1981, 1990), Picton, Lins y Scherg (1995) y Wood (1987).

Por lo que se refiere a la nomenclatura que usualmente se utiliza para referirse a un ERP concreto, encontramos que la terminología es variada. En ocasiones se utilizan como sinónimos los términos pico, onda o componente. Algunos autores, sin embargo, han tratado de ser más precisos, y han definido el término *componente* como algo distinto de un pico o una onda. La definición es ésta: un componente es una porción de una onda, sensible a una manipulación experimental concreta, y se considera que refleja un proceso particular o grupo de procesos. En este sentido, un componente puede ser tanto un único pico como una secuencia de picos (Coles, Gratton & Fabiani, 1990). Ocurre, sin embargo, que en muchas ocasiones todavía se siguen utilizando los términos pico y onda indistintamente como si fueran sinónimos de componente.

Con relación al procedimiento que se sigue para obtener los ERPs veremos que difiere del EEG espontáneo principalmente en dos aspectos. El primero de ellos hace referencia a su generación. Dado que un ERP recoge actividad eléctrica cerebral provocada por la presentación de un estímulo externo, será necesaria bien la exposición de un estímulo, bien la realización de una tarea para que el potencial evocado aparezca. Dicho de otro modo: si no tenemos *evento* no podremos provocar un ERP. Cabe mencionar aquí la razón por la que se abandonó el término *potencial evocado* y se sustituyó por el de *potencial relacionado con el evento*. En un principio, se optó por la primera nomenclatura porque se creía que los potenciales reflejaban la actividad cerebral estrictamente evocada por la presentación de un estímulo; así pues, se trataba de actividad relacionada con procesos sensoriales básicos. No obstante, algunas investigaciones posteriores demostraron que algunos potenciales estaban relacionados con una variedad de procesos invocados por las demandas psicológicas de la situación (Donchin, Ritter & McCallum, 1978). En consecuencia, todo parecía indicar que tales potenciales

reflejaban, más que una actividad evocada por un estímulo, una actividad relacionada con un evento.

El segundo aspecto diferencial en los procedimientos para obtener los ERPs y el EEG tiene que ver con las diferencias que hay entre ellos en cuanto a su voltaje. A saber: la amplitud es de 5 o 10 microvoltios en los ERPs y de entre 50 y 100 microvoltios para el EEG (Kutas & Van Petten, 1994). Así, resulta difícil, por no decir imposible, distinguir una fluctuación tan pequeña en voltaje a lo largo del EEG espontáneo. No obstante, existen varios métodos para separarlos: el más utilizado consiste en el cálculo de un potencial promedio que permitirá detectar el ERP. Llegaremos a este potencial promedio registrando en primer lugar varios fragmentos o épocas de EEG tras la presentación de un mismo evento, y, posteriormente, promediándolos. La suposición que motiva esta técnica radica en lo siguiente: la actividad eléctrica que no está relacionada con el procesamiento del estímulo externo varía aleatoriamente a lo largo de las distintas épocas registradas, mientras que la actividad provocada por el evento se mantendrá constante. De esta manera, en el promedio, las fluctuaciones aleatorias en voltaje se igualarán a cero y se destacará una onda residual; esta actividad, en la que se han cancelado las fluctuaciones aleatorias, es el potencial relacionado con el evento. Para conseguir una adecuada razón señal/ruido necesitaremos un mínimo de entre 25 y 30 ensayos en el promedio.

Ya hemos expuesto qué es un ERP y cuál es el procedimiento que hay que seguir para obtenerlo, el siguiente paso será comentar sus características definitorias. Donchin, Ritter y McCallum (1978) indican que un componente ha de definirse por una combinación de su polaridad, latencia, topografía y sensibilidad a las características de la manipulación experimental —cabe destacar que las características primera y tercera recogen información sobre la fuente fisiológica, mientras que las otras dos se refieren a la función psicológica—. En primer lugar, por lo que refiere a la polaridad, los componentes pueden ser de dos tipos: positivos o negativos. En este sentido, denominaremos P a los componentes con polaridad positiva, y N a los que tengan polaridad negativa. En segundo lugar, con respecto a la latencia, ésta suele medirse tomando el tiempo en milisegundos desde la presentación del estímulo hasta la aparición del pico o del valle; esto es, hasta el punto de máxima o mínima amplitud dentro de una ventana de latencia concreta.

Así, por ejemplo, el componente N400 es una onda negativa que presenta un pico aproximadamente a los 400 ms después de la presentación del estímulo. Esta denominación que recoge la latencia del componente tiene un problema importante, puesto que, en muchas ocasiones, se utiliza una terminología de este tipo para identificar un componente que puede presentar variaciones importantes en cuanto a su latencia. Tal es el caso del componente P300, un pico de polaridad positiva que ha sido ampliamente investigado (en la literatura encontramos P300 incluso en un rango de latencia entre 500 y 700 ms dependiendo del tipo de estímulo, de los sujetos o de la tarea). Es por esta razón que algunos investigadores prefieren designar a los componentes con otro término, por lo que proponen mantener la polaridad pero con el añadido de un número que indique el orden de aparición del pico. Por ejemplo: P3 se referirá a un pico positivo que aparece en tercer lugar; N2 designa el segundo pico negativo después de la presentación del estímulo.

La tercera característica definitoria de los componentes, según la propuesta de Donchin et al. (1978), es su topografía, es decir, su distribución en el cuero cabelludo. No habíamos comentado hasta este momento que el registro de los ERPs se realiza colocando electrodos sobre varias localizaciones. Usualmente se utilizan las localizaciones propuestas en el Sistema Internacional 10-20 (Jasper, 1958). En este sistema cada localización viene definida por dos aspectos: uno, su proximidad a una región concreta del cerebro (*frontal*, *central*, *temporal*, *parietal* y *occipital*); y, otro, su ubicación en el plano lateral (números impares para la izquierda, números pares para la derecha y la letra *z* para las localizaciones centrales). Aparte de estas localizaciones, en algunos experimentos se colocan electrodos sobre otras zonas del cuero cabelludo (por ejemplo sobre el área de Wernicke o sobre el área de Broca). El registro de la actividad eléctrica en varias localizaciones nos permite, entre otras cosas, detectar si existe un lugar en concreto donde aparece un determinado componente y si hay diferencias hemisféricas. En cualquier caso debemos tener muy en cuenta lo siguiente: las fluctuaciones en el voltaje recogidas con un electrodo sobre el cuero cabelludo no han de tomarse como actividad originada por el tejido cerebral directamente subyacente a esa localización, es decir, que la topografía sobre el cuero cabelludo no suministra un mapa de la localización neuronal. De hecho, la actividad generada en un área concreta del cerebro puede haberse registrado en una localización situada a una considerable distancia de su generador.

Finalmente, la última característica definitoria de un componente hace referencia a su sensibilidad a una determinada manipulación experimental. Este es el criterio más difícil, puesto que existen componentes bastantes inespecíficos. El caso más notorio es el de la familia de los P300s, ondas que aparecen utilizando eventos muy diversos. No obstante, existe otro componente bastante controvertido: la onda N400. En cuanto a ésta, su especificidad como indicador del procesamiento semántico también se ha puesto en duda. A pesar de esto, la sensibilidad a determinadas manipulaciones experimentales sigue siendo un elemento fundamental para separar componentes.

Recientemente, Picton et al. (2000) han manifestado el problema que supone la ausencia de consenso por parte de los investigadores para designar los distintos componentes. Estos autores distinguen entre lo que denominan terminología observacional y terminología teórica: la primera consiste en designar un componente en función de las características de la onda medida en un grupo de datos, mientras que la segunda se fundamenta en el tipo de proceso psicofisiológico que supuestamente la origina. Afirman, además, que ante algunos estudios de ERPs cognitivos resulta difícil discernir si los investigadores están utilizando una terminología observacional o una teórica para referirse a un determinado componente. Sugieren, por tanto, que sería conveniente separar ambas nomenclaturas colocando una línea sobre el nombre del componente en sentido teórico —por ejemplo, $\overline{\text{P300}}$ —. La revisión teórica que hemos llevado a cabo sobre el componente objeto de estudio de nuestra investigación —N400— nos ha confirmado la idoneidad de la indicación de estos autores, puesto que en muchas ocasiones al leer los artículos no queda claro a qué se refieren exactamente los investigadores cuando utilizan esta nomenclatura.

En la línea de las cuestiones que planteábamos al principio de este capítulo ahora debemos pasar a comentar la clasificación de los ERPs. Queremos destacar dos clasificaciones: una que diferencia entre ERPs exógenos y ERPs endógenos; otra que los clasifica en ERPs previos a la aparición del evento y ERPs posteriores a su presentación. En cuanto al primer criterio clasificatorio, establece una serie de características diferenciales entre los ERPs denominados exógenos y los llamados endógenos: primera, los potenciales exógenos son de latencia más corta que los

potenciales endógenos —si lo primeros aparecen en los primeros 100 o 150 ms tras la presentación del estímulo, los segundos son más tardíos—; segunda, los exógenos se ven afectados por las características físicas del estímulo (por ejemplo, la modalidad de presentación o la intensidad), mientras que los endógenos no —por el contrario, estos últimos sí se ven influidos por factores tales como la atención, la relevancia de la tarea o el estado del sujeto durante el procesamiento del estímulo; es más, algún potencial endógeno aparece incluso en ausencia de un evento externo, como, por ejemplo, cuando un estímulo esperado no ocurre—. Respecto de esta clasificación, Coles y Rugg (1995) defienden que no se trata tanto de una dicotomía como de un continuo. Según ellos basta con advertir que casi todos los componentes sensoriales tempranos pueden ser modificados por manipulaciones cognitivas (por ejemplo, la atención). Por otra parte, muchos de los componentes cognitivos tardíos pueden verse afectados por las características físicas del estímulo. En consecuencia, es más adecuado hablar de una dimensión exógeno-endógena, de manera que aquellos componentes que aparecen dentro de los primeros 100 ms tras la presentación del estímulo tenderían a ser más exógenos, mientras que aquéllos de aparición más tardía tenderían a considerarse más endógenos.

Respecto a la segunda clasificación de ERPs, la encontramos en el trabajo de Coles y Rugg (1995), en donde se agrupan los componentes en dos clases: los que son previos a la aparición del evento y los posteriores a su presentación. Cada uno de estos grupos incluye varios componentes: entre los primeros destacan el potencial de respuesta (*Lateralized Readiness Potential*- LRP) y la variación negativa contingente (*Contingent Negative Variation* - CNV); y, en cuanto a los segundos, se distingue entre componentes sensoriales, las ondas Nd, la *Mismatch Negativity* (MMN), las ondas P300s y la onda N400. Veamos una pequeña descripción de cada uno de ellos:

- El **potencial de respuesta** (LRP) fue identificado en un primer momento por Kornhuber y Deeke (1965) en sus estudios con movimientos voluntarios. Se trata de un potencial negativo que aparece cuando el sujeto se prepara para realizar un movimiento con una mano. Además, se ha observado que presenta máxima amplitud (sobre 10-15 μ v.) en las localizaciones precentrales y es contralateral a la mano de respuesta escogida.

- La **CNV** fue descrita por primera vez por Walter y sus colaboradores (Walter, Cooper, Aldridge, McCallum & Winter, 1964). Esta onda aparece cuando se presentan dos estímulos separados por un intervalo de tiempo y se establece una contingencia entre ambos. Se trata de una onda negativa lenta que alcanza su máxima amplitud (hasta 20 μV .) cuanto más cerca estamos del segundo estímulo. Además, se ha observado que tiene máxima amplitud en regiones centro-frontales y, parece, que tiene que ver con los procesos de preparación de respuesta. Sin embargo, estudios posteriores (Loveless & Sanford, 1974) sugieren que la CNV está compuesta en realidad por dos componentes distintos: las denominadas *O-wave* y las *E-wave*. A este respecto, estos autores afirman que la primera onda es un signo de orientación, mientras que la segunda tiene que ver con el potencial de respuesta descrito por Kornhuber y Deeke. Remitimos al lector interesado en esta discusión a Brunia (1993), Harter y Anllo-Vento (1991), Rohrbaugh y Gaillard (1983), Simons (1988) o Turbany (1992).
- Dentro de los **componentes sensoriales** se recogen todos aquéllos denominados exógenos. Este grupo de potenciales se caracteriza por ser respuestas obligatorias del sistema nervioso a estímulos externos. De hecho, se considera que recogen la actividad de las vías sensoriales cuando transmiten la señal generada por los receptores periféricos al sistema de procesamiento central. Esto se ve apoyado por el hecho de que se trata de componentes específicos de la modalidad sensorial. Tanto es así, que difieren en forma y en distribución cortical dependiendo del tipo de modalidad sensorial en que se presente el estímulo. Puede encontrar una buena revisión de estos componentes en Hillyard, Picton y Regan (1978).
- **Nd, N100 o Processing Negativity**. Todos los términos anteriores se suelen utilizar como sinónimos para referirse a una onda negativa que aparece aproximadamente a los 100 milisegundos. Este potencial surge al comparar la actividad evocada por estímulos atendidos con aquella evocada por estímulos no atendidos. Concretamente esta negatividad parece estar asociada a la atención. Sin embargo, en este punto hay controversia: ésta se debe a que otro grupo de investigadores (Näätänen, Gaillard & Mantysalo, 1978) argumentan que el efecto de la atención se refleja en un cambio negativo observado ante estímulos atendidos. Más información sobre esta polémica puede encontrarse en Näätänen (1992) y Mangun y Hillyard (1995).

- **N2 y Mismatch Negativity (MMN).** Es muy amplia la familia de negatividades que aparecen en la latencia de los 200 ms (véase Näätänen, 1992 y Pritchard, Shappell, & Brandt, 1991, para una exhaustiva revisión). No obstante, existe una condición crítica que es común a todas ellas; a saber: el evento presentado debe desviarse en algún sentido del contexto. El paradigma que se utiliza para su provocación viene definido por dos aspectos básicos. Primero: deben exponerse una serie de eventos a los sujetos de manera que cada evento pertenezca a una de dos o más clases. Segundo: uno de los distintos tipos de evento habrá de ser improbable. De esta manera, una onda N2 aparecerá ante los estímulos inesperados. En este apartado merece un comentario especial una de estas N2 que en los últimos años se ha destacado sobre las demás. Nos referiremos a la *Mismatch Negativity* —MMN, también conocida como N2a— (puede encontrar una revisión, por ejemplo, en Escera, 1997). Este componente, descubierto por Näätänen, parece reflejar la detección automática de una desviación física. Además, varios estudios han demostrado que su amplitud es sensible al grado de desviación del estímulo.
- **P300, P3, P3a y P3b.** La familia de los P300s es una de las que ha sido más investigada. Se trata de una serie de picos positivos cuya latencia y amplitud se ven modulados por variaciones en el *contexto psicológico* en que se presentan los estímulos (Honrubia, 1989). A grandes rasgos, y a pesar de las múltiples diferencias existentes entre los distintos P300s, se pueden abstraer varios elementos comunes. En primer lugar, aparecen ante estímulos inesperados que son relevantes para la tarea que ha de realizar el sujeto. En segundo, su latencia varía dependiendo de la dificultad de la tarea. En tercero, su amplitud se ve modulada por el grado de expectación que el sujeto tiene de un determinado estímulo. Revisiones detalladas de los distintos P300s se encuentran en Honrubia (1989), Polich y Kok (1995) y Pritchard (1981), entre otros.
- **N400.** Este componente es el objeto de esta tesis y, por lo tanto, será ampliamente revisado y comentado en páginas posteriores. No obstante, queremos dar unas breves pinceladas para que el lector vaya introduciéndose en la materia. Primera: se trata de un componente cuyo descubrimiento es relativamente reciente, puesto que la primera publicación en la que se menciona es la de Kutas y Hillyard del año 1980. Segunda: suele aparecer

asociado al procesamiento semántico, si bien en torno a este punto hay polémica. Tercera: es un pico negativo, con máxima amplitud alrededor de los 400 ms, que acostumbra a presentar topografía centro-parietal.

Hasta el momento hemos visto lo siguiente: primero, qué son los potenciales relacionados con el evento; segundo, cómo se obtienen; tercero, cuáles son sus características definitorias; cuarto, cuál es su tipología, es decir, cómo se clasifican. Llegados a este punto hay que aclarar otra cuestión fundamental, quizá la más importante. A saber: ¿para qué nos sirve el registro de ERPs?; o, dicho de otro modo, ¿qué información nos aporta? Pues bien, dado que los procesos cognitivos se suponen relacionados con la actividad eléctrica cerebral, y que los ERPs son fluctuaciones de los potenciales eléctricos del cerebro provocadas por la presentación de un evento, parece que estos últimos pueden ser buenos candidatos para ayudarnos a comprender mejor el sistema cognitivo humano. Según esto, los ERPs serían indicadores de algún proceso o subproceso cognitivo o perceptivo. De hecho, basta con echar una ojeada a la literatura sobre ERPs para comprobar que su utilización se está extendiendo cada vez más en varios campos de la psicología cognitiva: atención, procesamiento de la información, memoria, comprensión del lenguaje, etcétera (para una revisión detallada, véase Rugg & Coles, 1995).

Para finalizar, comentaremos las ventajas que presenta la utilización de los ERPs para el estudio de los procesos cognitivos humanos. Son principalmente tres. La primera radica en el hecho de que el registro de potenciales evocados es una técnica no invasiva. Esto quiere decir que pueden registrarse independientemente de que el sujeto deba realizar una tarea específica o emitir una respuesta motora. Visto así, este aspecto será útil, por ejemplo, para el estudio del lenguaje, puesto que podremos registrar ERPs tras instruir al sujeto en la audición o lectura de algunas sentencias, sin que haya ninguna demanda extraña impuesta a la tarea. La segunda ventaja consiste en que el registro de ERPs nos aporta múltiples datos: obtenemos para cada condición experimental información sobre la latencia, amplitud, polaridad y topografía del componente de interés; pero hay más, puesto que en el caso de que nos interese más de un componente, los datos obtenidos en cada condición se multiplican por 2, por 3 o por más; además, también podemos obtener información sobre la morfología de la onda. Así pues, la información obtenida es muy abundante y puede ser una base muy rica para distinguir entre

diferentes procesos. Tercera ventaja: la alta resolución temporal del registro de ERPs —en orden de milisegundos— nos permite estudiar la evolución o secuencia de actividad neuronal subyacente a funciones cerebrales superiores. Esto nos permitirá investigar distintos procesos cognitivos en tiempo casi real.

3. NEGATIVIDADES EN EL RANGO DE LOS 400 MILISEGUNDOS

En las siguientes páginas ofreceremos una revisión de distintas investigaciones en las cuales se reportan componentes negativos tardíos ante la presentación de diferentes tipos de incongruencia. Vamos a examinar, pues, trabajos en los que se han observado ondas negativas en el rango de los 400 ms en una situación muy concreta: aquella en la que el sujeto detecta una anomalía o desajuste entre el estímulo que se le presenta y aquél que espera por el contexto. Con ello perseguimos dos objetivos: en primer lugar, dar al lector una visión general de la problemática en torno a la especificidad del componente N400, el cual tradicionalmente se ha asociado al procesamiento semántico; en segundo, ofrecer una síntesis del estado actual de la cuestión.

Si nos remontamos al origen de este componente habremos de ir al año 1980, fecha en que Marta Kutas y Stephen Hillyard publican el artículo titulado *Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity* en la revista *Science*. Estos autores presentaron a un grupo de sujetos dos tipos de sentencias: unas, en que la palabra final era semánticamente incongruente con el contexto que la precedía; otras, en que la última palabra era congruente. Sus resultados mostraron la aparición de una onda negativa con máxima amplitud en torno a los 400 ms después de la presentación de la palabra final. Además, comprobaron que esta negatividad era superior cuando la sentencia se cerraba con una incongruencia. Se había descubierto un nuevo componente que parecía estar vinculado al procesamiento semántico; basándose en su latencia y topografía, Kutas y Hillyard lo denominaron N400.

A partir de este momento, han sido muchos los trabajos que se han desarrollado acerca del componente N400 con el objeto de alcanzar una mayor delimitación del mismo, esto es: precisar más su especificidad. Interesaba conocer qué tipo de manipulación experimental concreta lo provocaba; si sufría variaciones en su amplitud y latencia; cuál era su topografía, etcétera. Aunque ya veremos con detalle la evolución de este componente, queremos simplemente resaltar que dio origen a una amplia línea de investigación en el campo de la psicolingüística, ya que todo parecía indicar que se trataba de un componente específico del procesamiento semántico. Sin embargo, a su vez, también se desarrollaron una serie de trabajos en los que se encontraron ondas negativas en este rango de latencia ante tareas no lingüísticas. La primera investigación dentro de este grupo es la de Stuss, Sarazin, Leech y Picton (1983), quienes obtuvieron una actividad similar a la del componente N400 semántico en una tarea que no era ni semántica ni lingüística. Se trataba de una tarea de rotación mental.

La investigación de Stuss et al. dio origen a otras muchas en las cuales se consiguió una amplia variedad de ondas tipo-N400 ante tareas que no implican procesamiento semántico (una extensa revisión de estos trabajos se presentará más adelante a lo largo de este capítulo). Pero es más, existe otro grupo de investigadores que manifiestan que en realidad la onda N400 no es un nuevo componente: dicen que sólo se trata de una onda N2 demorada. El argumento sobre el que se sostiene esta hipótesis es el que sigue: la onda N200 aparece ante discordancias físicas y siempre va seguida por un componente positivo; por otra parte, la onda N400 es provocada por una discrepancia semántica y también va acompañada por un pico positivo tardío. Por tanto, parece razonable pensar que la secuencia N2-P3 se demora en el tiempo cuando requerimos del sujeto un procesamiento de tipo semántico, puesto que éste es más complejo que el procesamiento puramente físico. Comentaremos más adelante el trabajo que Pritchard, Shappell y Brandt (1991) realizan acerca de esta polémica.

A grandes rasgos hemos expuesto la temática que pretendemos abordar, y, en breve, nos adentraremos con más detalle en ella. Presentamos los experimentos organizados en distintos bloques. En primer lugar, nos pareció útil, y más clarificador, organizar la información en dos grandes grupos de investigaciones. De

un lado, aquél que se ha desarrollado en el campo de la psicolingüística, en el cual se apoya la hipótesis de que la onda N400 es un componente específico del procesamiento semántico. De otro, aquél que recoge toda una serie de ondas negativas similares al componente N400-semántico, pero que aparecen en tareas no semánticas. Así pues, presentamos dos clases de potenciales negativos: los semánticos y los no semánticos. En segundo lugar, nos dimos cuenta de que dentro de cada uno de estos grupos —la línea de estudios que investigan el procesamiento semántico y la que trabaja con tareas que no implican este tipo de procesamiento— había dos tipos de experimentos. Unos, en los que el material utilizado era lingüístico (sentencias o palabras). Otros, en que los estímulos no eran lingüísticos, sino de tipo no-verbal; por ejemplo: dibujos, sonidos, aromas,... Es por esto que creímos oportuno organizar la información teniendo en cuenta, también, este criterio. Y así lo hemos hecho. De esta manera, dentro de cada línea de trabajos presentamos por una parte investigaciones en las que el material utilizado es de tipo verbal y, por otra, aquéllas en las que el material no es verbal.

Tras la exposición de estas investigaciones, y a modo de conclusión, ofrecemos un apartado en el cual hemos sistematizado las semejanzas y diferencias entre las distintas ondas negativas. A partir de ahí, discutiremos si se puede hablar o no de un componente N400 general o de varios N400s. Enlazando con esta síntesis, también expondremos la propuesta integradora que en el año 1991 aportaron Pritchard, Shappell y Brandt. Le dedicaremos una sección especial por ser éste el único planteamiento que se ha expuesto hasta el momento para clarificar la especificidad del componente N400.

3.1. NEGATIVIDADES TARDÍAS EN TAREAS QUE IMPLICAN PROCESAMIENTO SEMÁNTICO

En este apartado vamos a presentar una revisión de varias investigaciones llevadas a cabo con potenciales evocados que apoyan la hipótesis de que el componente N400 es un indicador del procesamiento semántico. Como es natural, la mayoría de estos trabajos se han desarrollado en el campo de la psicolingüística, disciplina que además de interesarse por el N400, cada vez presta más atención a otros componentes de los ERPs. En concreto, han proliferado en los últimos años los

estudios que relacionan el procesamiento sintáctico con un pico positivo tardío —llamado P600 o SPS—. También a este componente dedicaremos una pequeña parcela de nuestra exposición. No obstante, si bien sabemos que ya existen excelentes revisiones publicadas alrededor esta temática (Kutas & Federmeier, 2000; Kutas & Van Petten, 1988; Kutas & Van Petten, 1994; Osterhout & Holcomb, 1995; Brown & Hagoort, 2000; entre otras), nuestro objetivo aquí es repasar los descubrimientos más relevantes que han puesto en relación el componente N400 de los potenciales evocados con el procesamiento del lenguaje. Dicho de otro modo: nos interesa subrayar los estudios donde la onda N400 se revela como indicador de algún proceso relacionado con la comprensión del lenguaje.

3.1.1. PROCESAMIENTO SEMÁNTICO DE MATERIAL VERBAL

Como decíamos al principio, comenzaremos nuestra incursión en el componente N400-semántico¹ con una exposición de aquellas investigaciones en las que se trabaja con material de tipo verbal. Con la expresión *material verbal* queremos significar aquellos estímulos que adoptan la forma de palabras o sentencias. Así pues, se excluye de este apartado todos aquellos estudios en los que la onda N400 se ha obtenido cuando se produce una discordancia entre el significado de una palabra y el que evoca una imagen. Este último grupo se abordará en otro epígrafe.

En general, las revisiones sobre la utilización de los ERPs en el campo de la psicolingüística separan dos grupos de investigaciones: el primero, recoge aquellos trabajos que se centran en el estudio del reconocimiento de palabras aisladas; y, el segundo, se ocupa de aquéllos que examinan el reconocimiento de una palabra en el contexto de una sentencia. Esta clasificación será la que aquí utilicemos. No obstante, comenzaremos exponiendo trabajos en los que se estudia el procesamiento de una palabra en el contexto de una sentencia. La razón es bien simple. Dado que históricamente el primer componente N400 se observó ante la presentación de una palabra que completaba de forma anómala una frase, nos parece conveniente respetar este orden cronológico e iniciar nuestra exposición en

¹ Con el término *N400-semántico* nos referimos a aquellas ondas negativas en el rango de los 400 ms que parecen estar vinculadas al procesamiento semántico del estímulo —aquellas provocadas por incongruencias semánticas—. Con ello queremos diferenciarlas de otras ondas de polaridad y latencia similar que se manifiestan ante incongruencias de otro tipo.

ese momento. En consecuencia, y a partir de ahí, nos vemos obligados a comenzar esta revisión por aquellas investigaciones en las cuales se muestra una incongruencia semántica en el contexto de una sentencia. Después, tal como anunciábamos más arriba, ofreceremos otra, en la que presentaremos varias investigaciones donde se relaciona el componente N400 con el procesamiento semántico de palabras aisladas. Finalmente, y para concluir este apartado, expondremos las características principales de estas ondas en cuanto a su topografía y latencia.

3.1.1.1. PROCESAMIENTO DE SENTENCIAS

A tenor de lo expuesto anteriormente, no cabe duda que habremos de iniciar este epígrafe refiriéndonos a los orígenes del componente N400. Ya se ha comentado que la primera vez que se describe esta onda es en el año 1980. En efecto, Kutas y Hillyard (1980a) comparan los ERPs provocados por la presentación de una palabra que completa una sentencia de tres posibles maneras: la primera es una palabra que completa la sentencia de forma semánticamente incongruente; la segunda es una palabra semánticamente congruente pero escrita en una tipología distinta al resto de la sentencia; y la tercera es una palabra congruente tanto en su significado como en su tipografía con el contexto que la precede. Los resultados que obtuvieron son éstos: la palabra final incongruente provocó una onda negativa, máxima en amplitud en las localizaciones posteriores y algo mayor en el hemisferio izquierdo. Por el contrario, las palabras finales congruentes provocaron patrones de ERPs distintos. A saber: los finales congruentes en su significado pero incongruentes en su tipografía provocaron una onda de ida positiva en la misma ventana que la onda N400; sin embargo, ante las palabras congruentes en significado y tipografía también se observó una onda negativa, similar a la observada ante las incongruencias, pero de menor amplitud. Las diferencias entre las tres ondas se originaban aproximadamente a los 200 ms de la presentación de la palabra objetivo, y la diferencia máxima se observó a los 400 milisegundos. En todos los casos la tarea impuesta al sujeto consistía en la lectura silenciosa de las sentencias; tales sentencias se presentaron palabra tras palabra.

En suma, los resultados de esta primera investigación parecen indicar que la onda N400 es sensible a las relaciones semánticas entre una palabra y el contexto

de la sentencia que la precede. El motivo es claro: se había observado cómo las palabras contextualmente inadecuadas provocaban una onda N400 de mayor amplitud que aquéllas cuyo significado se ajustaba al contexto. Concretamente, la conclusión de Kutas y Hillyard es ésta: el componente N400 podría ser *un signo electrofisiológico del reprocesamiento de la información semánticamente anómala* (Kutas & Hillyard 1980a, p. 203). Veremos más adelante cómo esta primera interpretación se vio modificada tras la realización de investigaciones posteriores.

Nos detendremos un instante a comentar una investigación que Kutas y Hillyard llevaron a cabo años más tarde: en 1984. Kutas y Hillyard (1984) registraron ERPs mientras presentaban a los sujetos una serie de sentencias en las que se manipulaba la probabilidad de cierre, esto es: el grado de ajuste de la palabra final respecto al contexto semántico que la precedía. Las sentencias se generaron a partir del procedimiento de Taylor (1953)². Sus resultados mostraron que la amplitud del componente se veía modulada por la probabilidad de cierre de las palabras; dicho de otro modo: la amplitud de este componente era máxima cuanto menor era la probabilidad de cierre, e iba disminuyendo a medida que se incrementaba la probabilidad de cierre de la palabra presentada. Estos resultados contradicen la primera afirmación de Kutas y Hillyard (1980a). La razón es la que sigue: los actuales resultados indican que la anomalía semántica es condición suficiente pero no necesaria para provocar la aparición de una onda N400; esta onda aparece con palabras semánticamente adecuadas pero que no son la mejor terminación para una sentencia. Así pues, a partir de esta investigación se define el componente N400 como un indicador fisiológico del grado en el cual una palabra ha sido activada o preparada por el contexto que la precede, tal grado de activación se recoge en la amplitud de este componente.

Existe un trabajo que enlaza con el anterior, el cual matiza la definición del componente N400 (Kutas, Lindamood & Hillyard, 1984). Aquí se comparan las ondas negativas tardías provocadas por la presentación de tres tipos de palabras

² Para generar sentencias con distintas probabilidades de cierre se habrá de seguir este procedimiento: 1º, presentar a un amplio grupo de individuos una serie de sentencias en las cuales falte la palabra final; y, 2º, indicarles que escriban la palabra que, según ellos, completa mejor la sentencia. A partir de estos datos, la probabilidad de cierre de una palabra será la proporción de sujetos que han indicado que tal palabra es la que mejor completa la sentencia.

que completan una frase. En cuanto al primer tipo, se trata de la palabra que tiene la máxima probabilidad de cierre. Respecto del segundo, son palabras semánticamente inadecuadas pero que están muy relacionadas con la mejor de las terminaciones. Finalmente, existe un tercer tipo: palabras que no sólo son semánticamente inadecuadas respecto del contexto de la frase, sino que, además, no están relacionadas con la palabra de mayor probabilidad de cierre. Por ejemplo, dada la siguiente frase *The pizza was too hot to...* los posibles finales son éstos: *eat* para el primer tipo, *drink* para el segundo y *cry* para el tercero. Los resultados mostraron que la onda N400 presentaba mayor amplitud ante estímulos del tercer tipo; esto es: aquellas palabras incongruentes con el contexto de la sentencia y no relacionadas con la palabra de mayor probabilidad de cierre. Con relación a los otros dos tipos de estímulos, en cambio, lejos de encontrar que provocaran el mismo patrón de ERPs, también se observaron diferencias entre ellos. De una parte, las palabras congruentes con el contexto —primer tipo— presentaban una onda N400 de menor amplitud que las palabras del segundo tipo —palabras incongruentes con el contexto pero relacionadas con la mejor terminación—. De otra, la onda negativa provocada por éstas era menor que la observada por las palabras del tercer tipo —incongruentes en contexto y en su relación con la mejor terminación—. En síntesis: había una gradación en la amplitud del componente N400 en función del tipo de estímulo³.

Los resultados de la investigación anterior dan un nuevo giro a la interpretación de la amplitud del componente N400. Ahora, dicha amplitud parece ser indicador de dos procesos distintos. Primero: la expectación que tenemos de una palabra a partir del contexto. Segundo: la asociación entre palabras individuales. En definitiva, Kutas et al. (1984) sugieren que este componente puede ser un índice de la cantidad de preparación semántica o activación que, en el contexto de una frase, una palabra recibe del contexto que la precede.

A partir de aquí, han sido muchas las investigaciones realizadas para delimitar aún más la naturaleza del componente N400. Es decir, para relacionarla con mayor precisión a procesos o subprocesos cognitivos concretos. Aunque se trata de un componente de descubrimiento bastante reciente (hace apenas 21 años) es difícil

³ Resultados similares se encuentran años más tarde en Federmeier y Kutas (1999).

abarcara toda la producción que ha generado. Éste es el motivo por el cual presentamos una selección de los trabajos que, a nuestro parecer, son más representativos. Para una mayor comprensión, vamos a exponer las distintas investigaciones agrupadas en función del tipo de manipulación experimental que provoca tanto la aparición de la onda N400 como cambios en su amplitud y/o latencia.

3.1.1.1.1. Modalidad de presentación

El componente N400 no depende de la modalidad de presentación. Si bien la mayoría de las investigaciones se han desarrollado utilizando la modalidad visual, esto es, presentando las palabras a través de una pantalla de ordenador, también se han observado N400s mediante la utilización de otro tipo de presentaciones. Por ejemplo, esta onda negativa aparece cuando los estímulos se presentan en modalidad auditiva. En efecto, diferencias en amplitud en el rango de los 400 ms se dan tanto al comparar palabras finales congruentes e incongruentes en el contexto de una sentencia como en la comparación de palabras relacionadas y no-relacionadas semánticamente que son verbalizadas en listas (Bentin, Kutas & Hillyard, 1993; Connolly & Phillips, 1994; Connolly, Stewart & Phillips, 1990; Herning, Jones & Hunt, 1987; Holcomb & Neville, 1991; McCallum, Farmer & Pocock, 1984; O'Halloran, Isenhardt, Sandman & Larkey, 1988). No obstante, existen diferencias entre la onda N400 visual y la auditiva. Una, respecto de su latencia; otra, en cuanto a su topografía. Así, la onda N400 auditiva comienza más temprano y tiene mayor duración que la onda N400 visual. Por otra parte, y contrariamente a la onda N400 visual, la onda negativa auditiva es mayor sobre el hemisferio izquierdo y su distribución es frontal.

A pesar de las diferencias que existen entre ambas N400s, Kutas y Van Petten (1994) afirman que las semejanzas entre ellas son muy notables. Respecto de las diferencias son dos los argumentos que según ellos pueden justificarlas. Primero: la extracción de información lingüística de una palabra impresa es probable que requiera un tiempo distinto al que requiere una palabra hablada —la impresión puede captarse con una fijación visual mientras que la señal auditiva se extiende en el tiempo—. Segundo: el lector puede controlar la tasa de entrada del estímulo, ya

sea incrementando, ya sea acortando la duración de la mirada; por el contrario, el oyente está obligado por el ritmo del orador.

Sin abandonar el capítulo de las distintas modalidades en que aparece la onda N400, vamos a prestar especial atención a una modalidad peculiar: el lenguaje de signos. Kutas, Neville y Holcomb (1987) y Neville (1985) estudian el efecto de la incongruencia semántica en un grupo de personas que sufrían sordera congénita. Los resultados muestran una onda N400 ante la presentación de incongruencias semánticas en el lenguaje americano de signos. Tales datos muestran que el efecto del N400 refleja un nivel de análisis que va más allá de la lectura en las palabras escritas; de los fonemas o sílabas en una palabra hablada; y de los gestos en una palabra con signos. En definitiva: se confirma la sensibilidad del componente N400 como índice del procesamiento semántico durante la comprensión del lenguaje (Neville, Coffey, Lawson, Fischer, Emmorey & Bellugi, 1997).

3.1.1.1.2. Verificación de sentencias

Varios estudios sobre la verificación de sentencias apoyan la hipótesis de que la onda N400 sea un indicador del procesamiento semántico. Destacan principalmente dos investigaciones. La primera la encontramos en Fischler, Bloom, Childers, Roucos y Perry (1983). Estos autores presentaron a un grupo de sujetos dos tipos de sentencias: verdaderas y falsas; a su vez, tanto unas como otras podían ser afirmativas o negativas. De este modo, en total, se trabajaba con cuatro tipos de oraciones: afirmativa-verdadera, afirmativa-falsa, negativa-verdadera y negativa-falsa. En cuanto a la estructura de estas sentencias, siempre era ésta: sujeto + verbo + objeto; siendo el objeto una palabra de una categoría superior, y el sujeto, una palabra de una categoría inferior. Un ejemplo concreto es el siguiente: *A robin is a bird* es una sentencia afirmativa-verdadera; *A robin is a tree* es afirmativa-falsa; *A robin is not a tree* es negativa-verdadera; y, finalmente, *A robin is not a bird* es negativa-falsa. La tarea impuesta al sujeto era la de verificar la sentencia, es decir, indicar si era verdadera o falsa. Los resultados fueron los siguientes: de una parte, tanto las sentencias afirmativas-falsas como las negativas-verdaderas provocaron una onda negativa entre los 250 y 450 ms después de la presentación de la palabra final de la frase; por otra parte, esta onda negativa no apareció en los otros dos tipos de sentencias —las afirmativas-verdaderas y las negativas-falsas—.

La diferencia entre el primer grupo y el segundo radica en que en el primero hay una relación de incongruencia entre el sujeto y el objeto de la oración, mientras que en el segundo no la hay. En resumen, todo apunta a que la onda negativa tardía — N400— es sensible no a la veracidad o falsedad de la sentencia, sino a la relación semántica entre el sujeto y el objeto de la oración.

Años más tarde, Kounios y Holcomb (1992) llevaron a cabo una investigación similar. En esta ocasión, aunque se trabajó con sentencias que tenían la forma de sujeto + verbo + objeto, había dos diferencias respecto del material utilizado en el estudio de Fischler et al. (1983). Eran las siguientes: primera, todas las frases eran afirmativas; segunda, aparecía un cuantificador en el sujeto. Así, por ejemplo, había sentencias como *All collies are dogs* o *Some apples are people*. La tarea de los sujetos consistía en verificar las sentencias. Los resultados mostraron que siempre que no había relación semántica entre el sujeto y el objeto aparecía la onda N400 independientemente de la veracidad o no de la sentencia. Esto era así, independientemente del tipo de cuantificador. De este modo, por ejemplo, la palabra *people* provocó un componente N400 de igual amplitud en la frases *All apples are people* y *No apples are people*. Según esto, los autores concluyen que la amplitud de este componente es sensible a aspectos de la memoria semántica.

3.1.1.1.3. Posición de la palabra dentro de la sentencia

El componente N400 no es exclusivo de la palabra final de las sentencias. Kutas, Van Petten y Besson (1988) demuestran que aparece ante cualquier palabra con contenido, independientemente de su ubicación dentro de la sentencia. Una palabra con contenido es un sustantivo, verbo o adjetivo, que hace referencia a un objeto específico o un evento (veremos más adelante otras investigaciones en que se manipula el tipo de palabra). No obstante, parece que a medida que una palabra avanza en su posición dentro de la frase, la amplitud del componente N400 decrece (Kutas et al., 1988; Van Petten & Kutas, 1990). Este descubrimiento sugiere que este componente refleja las modificaciones que se producen en el procesamiento lingüístico a medida que se va construyendo el contexto. Dicho de otro modo: el reconocimiento de una palabra se beneficia por la preparación asociativa que supone el contexto de la sentencia.

La conclusión anterior está avalada por el siguiente hecho: cuando se presenta una serie de palabras de forma aleatoria (es decir, sin formar una sentencia) no se observan diferencias en la onda N400 en función del orden de presentación (Van Petten & Kutas, 1991)

3.1.1.1.4. Tipo de palabra

Varias investigaciones han demostrado que la onda N400 es sensible a las características de la palabra presentada. Destacan principalmente tres: en primer lugar, las que se interesan en comparar las palabras *contenido* con las palabras *función*; en segundo, aquéllas donde se manipula la frecuencia de uso; y, finalmente, las que estudian los ERPs provocados por palabras concretas y abstractas.

Dentro del primer grupo se incluyen una serie de trabajos donde se comparan los ERPs provocados por palabras contenido y palabras función —las primeras son aquéllas que, como indica su nombre, recogen un contenido, es decir, tienen un significado (sustantivos, verbos, adjetivos y adverbios); las palabras función, en cambio, serían aquéllas que no tienen significado (pronombres, artículos, conjunciones, preposiciones, etcétera)—. Se han realizado varios estudios para comprobar si los procesos cognitivos subyacentes al procesamiento de uno y otro tipo de palabras son diferentes. El primer trabajo que se interesa en este tema es el de Kutas y Hillyard (1983). Estos autores encuentran una onda N400 de mayor amplitud para las palabras contenido que para las palabras función. Años más tarde, Van Petten y Kutas (1991) reproducen el trabajo y obtienen resultados similares: sugieren que la diferencia encontrada entre ambos tipos de palabras puede deberse a que en el contexto de una sentencia las palabras función tienen mayor frecuencia de uso, mayor tasa de repetición y se predicen mejor que las palabras contenido. Finalmente, resultados análogos se encuentran en Neville, Mills y Lawson (1992). En efecto, palabras contenido y palabras función presentan el mismo patrón de ERPs hasta los 150 milisegundos, después, comienzan las diferencias: las palabras función provocan un componente negativo con pico aproximadamente en los 280 ms, que es mayor en las regiones frontales y anteriores, y que sólo es evidente en el hemisferio izquierdo; por el contrario, las palabras contenido provocan un pico negativo en los 350 ms, que es mayor en las regiones posteriores de ambos

hemisferios. En consecuencia, Neville et al. proponen que las diferencias en morfología, latencia y distribución de los ERPs para las palabras contenido y función se deben a que uno y otro tipo de palabra activan diferentes sistemas neurales.

El segundo grupo de investigaciones a que hacíamos referencia al comenzar este epígrafe es aquél que concierne a la frecuencia de uso. Estos trabajos normalmente van asociados a aquellos que se ocupan de estudiar el efecto de la repetición. De hecho, en el contexto de un experimento la diferencia entre la frecuencia de uso y el efecto de la repetición es sutil: mientras la primera se refiere a la familiaridad que tiene cada palabra para un sujeto⁴, la segunda, en cambio, tiene que ver con la frecuencia de una palabra dentro de un experimento concreto. A continuación presentamos algún ejemplo de cada tipo. Si comenzamos por las investigaciones en que se ha manipulado la frecuencia de uso, cabe destacar la siguiente conclusión: las palabras de alta frecuencia de uso tienden a provocar N400s de menor amplitud que aquéllas de baja frecuencia de uso. Sin embargo, hay que prestar especial atención a la interacción que la frecuencia de uso tiene con la repetición y la restricción semántica. Tanto si las palabras se repiten en listas como si se repite la sentencia completa, se ha comprobado que el efecto de la frecuencia desaparece en la segunda presentación, es decir, que las palabras de baja frecuencia de uso reducen su negatividad con su repetición (Besson & Kutas, 1993; Besson, Kutas & Van Petten, 1992; Mitchell, Andrews & Ward, 1993; Rugg, 1990; Smith & Halgren, 1987). Se ha observado, también, en estudios con sentencias que la frecuencia de uso interactúa con la restricción contextual, de manera que la diferencia entre palabras de alta y de baja frecuencia de uso decrece a medida que las palabras avanzan sus posiciones en la sentencia. Así, el efecto del N400 desaparece cuando las palabras ocupan lugares más cercanos al cierre de la sentencia. Recordemos que un resultado similar se había obtenido cuando se manipulaba la posición de la palabra dentro de la sentencia, independientemente de su frecuencia de uso.

En cuanto al tercer grupo —aquel que se interesa por el patrón de ERPs provocado por palabras concretas y abstractas—, destaca el trabajo realizado por Holcomb, Kounios, Anderson y West (1999), quienes presentan incongruencias

⁴ La frecuencia de uso se estima calculando la utilización de cada palabra en la población. En muchas ocasiones se elaboran diccionarios de frecuencias de uso a partir del análisis de prensa escrita.

semánticas en el contexto de una sentencia manipulando el tipo de palabra — concretas y abstractas—. En su caco, la palabra final de la sentencia podía ser de tres tipos: congruente, semánticamente anómala o neutra. En la mitad las ocasiones la palabra final era concreta y en la otra mitad abstracta. Los resultados mostraron un claro efecto del N400 ante los finales anómalos y neutrales, siendo mayor la amplitud para las palabras concretas. Sin embargo, no había diferencias entre los dos tipos de palabras para las sentencias congruentes.

De los resultados de las investigaciones anteriores se infiere lo siguiente con respecto a la onda N400: primero, presenta mayor amplitud en palabras contenido que en palabras función; segundo, a mayor frecuencia de uso menor es su amplitud; tercero, la repetición del estímulo reduce su voltaje; cuarto, las palabras concretas provocan mayores N400s que las palabras abstractas.

3.1.1.1.5. Estructura sintáctica

El componente N400 no es sensible a las manipulaciones en la estructura gramatical de la sentencia. Todo parece indicar que el procesamiento semántico y el sintáctico implican sistemas neurológicos y psicológicos separados. Estas son las conclusiones a las que ha llegado un grupo de investigadores, interesados especialmente en comprobar si los procesos cognitivos subyacentes a ambos tipos de procesamiento son los mismos.

Neville, Nicol, Barss, Forster y Garret (1991) al presentar sentencias con anomalías sintácticas observaron que se producía, primero, una onda negativa con pico en los 400 ms y máximo en localizaciones frontales, y, segundo, una onda positiva que se iniciaba aproximadamente en los 500 ms y de mayor amplitud en las regiones posteriores. Osterhout y Holcomb (1992), por otra parte, obtuvieron resultados similares: las incongruencias sintácticas provocaban una onda positiva tardía que denominaron P600 (también conocida como SPS – *Syntactic Positive Shift*). Aunque podría pensarse que el componente P600 es específico del lenguaje, también podría pertenecer a la familia de los P300s (ondas positivas tardías que aparecen ante eventos inesperados que son relevantes para la tarea). En el experimento de Osterhout y Holcomb, los sujetos debían decidir si la sentencia era gramaticalmente correcta, así pues, la incongruencia en este caso era relevante

para el sujeto, hecho que podría explicar la aparición de un componente P300. Una investigación posterior (Hagoort, Brown & Groothusen, 1993), sin embargo, aporta evidencias que hacen poco probable que la onda P600 sea una P3: en esta ocasión este componente aparece ante incongruencias sintácticas, aun cuando la estructura gramatical de la sentencia no era relevante para la tarea.

Basándose en los resultados anteriores y en otros similares, varios investigadores han afirmado que las ondas N400 y P600 son respuestas a anomalías semánticas y sintácticas, respectivamente (Hagoort et al. 1993; Osterhout, 1994; Osterhout & Holcomb, 1992). Sin embargo, trabajos recientes contradicen esto, ya que se han observado ondas negativas en el rango de los 400 ms ante incongruencias sintácticas utilizando tanto pares de palabras (Müntz, Heinze & Mangun, 1993) como sentencias (Rösler, Friederici, Putz & Hahne, 1993). Se podría pensar que esta negatividad es el mismo componente que el N400 semántico, no obstante, existe entre ellas una diferencia en topografía: la negatividad sintáctica presenta máxima amplitud en la localización frontal y en hemisferio izquierdo, mientras que el componente N400 semántico tiene una distribución centro-parietal. En consecuencia, estos autores llegan a la conclusión de que dadas las diferencias topográficas entre las ondas observadas ante las anomalías semánticas y sintácticas, los procesos subyacentes a cada tipo de procesamiento son diferentes.

Müntz, Heinze, Matzke, Wieringa y Johannes (1998) muestran resultados contra la especificidad sintáctica de la onda P600. Por una parte, observan una negatividad frontal en el rango de los 400 ms ante la presentación de incongruencias sintácticas; esta negatividad también aparece en anomalías semánticas pero en este caso es centro-parietal (sin embargo, no se observa para las anomalías ortográficas). Por otra parte, encuentran ondas positivas tardías en el rango de los 600 ms, tanto en las anomalías sintácticas como en las semánticas y ortográficas, aunque existen entre ellas diferencias en topografía: la onda P600 semántica es parietal mientras que las ondas P600 sintáctica y ortográfica están ampliamente distribuidas. En conclusión, la onda P600/SPS, que tradicionalmente se había asociado a la necesidad de re-análisis sintáctico provocado por la presencia de una ambigüedad o incorrección gramatical, parece que no es específica de las anomalías sintácticas. A pesar de esto, Müntz et al. afirman que las diferencias en su localización parecen indicar que distintos generadores neuronales contribuyen a

cada uno de los efectos. Además, estos autores indican que es necesario investigar más el papel que juega la onda N400 en el procesamiento sintáctico.

3.1.1.2. PROCESAMIENTO DE PALABRAS AISLADAS

A partir de las investigaciones originales de Kutas y Hillyard (1980 a,b,c), se llevaron a cabo otros estudios interesados, no tanto en el procesamiento de una palabra en el contexto de una sentencia como en el procesamiento de palabras aisladas. De esta manera, se ofrecía otra línea de investigación que se preocupaba especialmente en las operaciones mentales y en los procesos subyacentes al reconocimiento de palabras. Aunque se trata de un tipo de experimento que se aleja bastante de la comprensión del lenguaje natural, puesto que las palabras siempre están insertas en el contexto de una frase y su extracción de la sentencia que la envuelve las desvirtúa, el estudio de palabras aisladas es un paradigma de trabajo de larga tradición en el terreno de la psicología que se ha visto beneficiado por el uso de medidas psicofisiológicas. A continuación nos proponemos ofrecer una revisión de las ondas negativas tardías que se manifiestan ante la presentación de palabras aisladas. Igual que hicimos en el epígrafe anterior presentaremos las investigaciones agrupadas en función del tipo de manipulación experimental que se realiza.

3.1.1.2.1. Preparación semántica usando listas de palabras

Se ha comprobado que el componente N400 no es exclusivo del procesamiento de una palabra en el contexto de una sentencia. En efecto, Bentin, McCarthy y Wood (1985) encontraron este componente presentando palabras aisladas. Su experimento consistió en mostrar pares de palabras a un grupo de sujetos a quienes se les pedía que indicaran si el segundo estímulo presentado era una palabra — dicho de otro modo: su tarea consistía en tomar una decisión léxica—. Los resultados mostraron la aparición de una onda negativa con pico en los 400 ms ante la presentación del segundo estímulo cuando éste no estaba relacionado semánticamente con la palabra que lo precedía. Sin embargo, este componente no apareció cuando el estímulo objetivo estaba relacionado con el presentado previamente. A raíz de estos resultados, Bentin et al. sugieren que esta nueva negatividad podría estar relacionada con el componente N400 obtenido por Kutas y

Hillyard (1980 a,b,c). Varias investigaciones posteriores reprodujeron estos resultados (Boddy, 1986; Holcomb, 1986, 1988; Rugg, 1985).

Dentro de esta línea de investigación queremos destacar, además, los resultados alcanzados por Holcomb y Neville (1990). Estos autores trabajaron con una tarea de decisión léxica en la cual se presentaban cuatro posibles pares de palabras. Las diferencias entre ellos se debían a las distintas manipulaciones que se ejercía sobre el segundo miembro del par. Éstas eran las que siguen: 1º, palabras semánticamente relacionadas con la anterior; 2º, palabras no relacionadas con el otro miembro del par; 3º, no-palabras, es decir, serie de letras dispuestas al azar, de manera que el resultado final no se ajustaba ni a las reglas de fonética ni a las de ortografía; 4º, *seudopalabras*, esto es, no-palabras que siguen las normas fonológicas y ortográficas del lenguaje. Se encontraron resultados interesantes. Por una parte, respecto de la relación semántica entre las dos palabras del par se reprodujeron los hallazgos obtenidos en investigaciones previas; de nuevo se observó una onda N400 cuando la segunda palabra no estaba relacionada semánticamente con la anterior. Por otra parte, al comparar los otros dos tipos de estímulos se obtuvo lo siguiente: las no-palabras no provocaban una onda N400, no obstante, las *seudopalabras* sí la producían. En suma: ante las no-palabras que aparentaban ser una palabra aparecía la onda N400, mientras que las no-palabras que claramente no lo eran, no provocaban este componente. En consecuencia, Holcomb y Neville presentan estos resultados como una nueva evidencia de que el componente N400 es específico del lenguaje. Encontramos resultados similares — N400s ante *seudopalabras*— en Bentin, McCarthy y Wood (1985), Holcomb (1993), Holcomb y Anderson (1993) y Rugg, Doyle y Melan (1993).

3.1.1.2.2. Tipo de palabra

Hemos visto como la amplitud del componente N400 varía dependiendo del tipo de palabra cuando ésta aparece en el contexto de una sentencia. Ahora veremos resultados similares al estudiar el patrón de ERPs ante la presentación de palabras aisladas. Igual que en aquel momento diferenciábamos entre tres grupos de trabajos —los interesados en comparar palabras contenido y palabras función, aquéllos en que se manipula la frecuencia de uso y los que estudian los ERPs

provocados por palabras concretas y abstractas—, en esta ocasión, de nuevo, vamos a ajustarnos a esta taxonomía en nuestra exposición.

En relación con el primer grupo —aquel que se interesa en comparar palabras contenido y palabras función—, Nobre y McCarthy (1994) utilizando listas de palabras llegan a conclusiones similares a las de Neville et al. (1992): en una tarea de detección de categorías encuentran mayores N400s ante palabras contenido que ante palabras función. Este resultado sugiere que la atenuación de la onda N400 para las palabras función que se observa en el contexto de una sentencia no se debe a la preparación semántica o contextual, ya que un efecto similar se ha obtenido con palabras aisladas. Más bien, la reducción en la amplitud se debe a alguna diferencia en el procesamiento basada en el tipo de palabra. En suma: tanto Nobre y McCarthy como Neville et al. afirman que ambos tipos de palabra —contenido y función— se procesan en distintos sistemas neurales.

En cuanto al segundo grupo, es decir, a aquél interesado en la frecuencia de uso, se ha observado que las palabras de baja frecuencia de uso provocan mayores N400s que aquéllas de alta frecuencia de uso. Por otra parte, y volviendo a lo que se comentó al hablar de las investigaciones en que se trabaja con sentencias, la frecuencia de uso está muy relacionada con la repetición del estímulo. Si en aquéllas se había visto que la repetición de una palabra disminuía la amplitud de la N400 para las palabras de baja frecuencia de uso, en éstas, el resultado es el mismo.

Finalmente, el tercer grupo de investigaciones se interesa en las posibles diferencias en el patrón de ERPs provocado por palabras concretas y abstractas. Paller, Kutas, Shimamura y Squire (1987) encuentran mayores negatividades en los casos en que la palabra presentada es concreta que en los que es abstracta. No obstante, en esta investigación, el grado de concreción de la palabra era relevante para el sujeto, hecho que podía enmascarar de alguna manera la onda negativa encontrada. En este sentido, otro estudio (Halgren, 1987) utiliza un procedimiento similar, pero, en este caso, se trataba de una tarea de decisión léxica en la que la concreción de la palabra era irrelevante. Sorprendentemente, no se observaron diferencias entre los dos tipos de palabras. Unas y otras —concretas y abstractas— provocaban el mismo patrón de ERPs. Por el contrario, años más tarde, Kounios y

Holcomb (1994) encuentran que las palabras concretas provocan mayor negatividad entre 300 y 500 ms que las palabras abstractas, siendo esta diferencia más pronunciada en el hemisferio derecho. Consecuentemente con sus resultados, estos últimos concluyen lo siguiente: las diferencias encontradas en amplitud y en distribución topográfica entre palabras concretas y abstractas apoyan la teoría de la codificación dual. Según esta teoría, las ventajas que tiene una palabra concreta sobre una abstracta en su procesamiento radica en que la primera se nutre de la operación de dos sistemas (verbal e imagen) mientras que la segunda sólo se nutre de uno. Además, cabe recordar que estos dos sistemas —imaginativo y verbal— están asociados con los hemisferios izquierdo y derecho, respectivamente. Esto último se ve reforzado por el hecho de que las diferencias encontradas por Kounios y Holcomb entre ambos tipos de palabras son más marcadas en el hemisferio derecho, donde las palabras concretas alcanzaban su máxima negatividad.

Dada la diversidad de resultados en este último grupo de investigaciones, parece imprescindible que la comunidad científica insista en la búsqueda de nuevas aportaciones.

3.1.1.2.3. Modalidad de presentación

La mayoría de las investigaciones en las que se ha estudiado el reconocimiento de palabras han optado por la modalidad visual de presentación, sin embargo, existen algunos estudios en donde los estímulos se han presentado auditivamente. Sin ir más lejos cabe destacar, de nuevo, el trabajo de Holcomb y Neville (1990). En este experimento, todos los sujetos pasaron por dos sesiones de registro en las que se enfrentaban a una tarea de decisión léxica: una, en que la modalidad de presentación era visual y, otra, en que la modalidad fue auditiva. Cada ensayo estuvo compuesto por un par de palabras en el cual el segundo miembro de la pareja podía ser de cuatro tipos diferentes: 1º, una palabra relacionada semánticamente con la primera; 2º, una palabra no relacionada con la primera; 3º, una *seudopalabra*, es decir, una no-palabra pronunciable; y 4º, una palabra que en la modalidad visual estaba escrita al revés (esto es, empezando por la letra final), y, en la auditiva, se reproducía hacia atrás. Los resultados muestran la aparición de una clara onda N400 en ambas modalidades ante la presentación del segundo tipo de estímulo cuando éste es una palabra no relacionada con el primer miembro del

par. Sin embargo, existen diferencias entre las dos negatividades: la onda N400 comienza más temprano, tiene mayor amplitud y se prolonga por más tiempo en la modalidad auditiva. Cabe recordar que era ésta la diferencia que se había encontrado entre los dos tipos de presentaciones en aquellas investigaciones en que se estudiaba el efecto de la incongruencia semántica en el contexto de una sentencia. Si en aquella ocasión se concluyó que el componente N400 era independiente de la modalidad de presentación, ahora, la conclusión es la misma.

Queremos destacar aquí otro grupo de investigaciones: aquéllas llamadas de modalidad cruzada (*cross-modal priming*). Aunque también se trata de trabajos en los que se presentan pares de palabras, se observa aquí una diferencia fundamental respecto de las investigaciones que se han comentado anteriormente; a saber: en esta ocasión, un miembro de par se presenta auditivamente, mientras que el otro se presenta visualmente. En este tipo de experimentos los resultados son similares a los que presentábamos más arriba: de nuevo vemos una onda N400 cuando se produce una discordancia semántica entre ambos estímulos (Holcomb & Anderson, 1993). Estos datos sugieren *la existencia de un sistema semántico común que recibe información de sistemas separados de reconocimiento específicos de cada modalidad* (Holcomb & Anderson 1993, p. 203).

3.1.1.3. TOPOGRAFÍA Y LATENCIA DE ESTOS N400s

Dedicamos un apartado especial a la topografía y latencia de este componente. La razón es que estos elementos, principalmente el primero, son los que se han venido esgrimiendo para diferenciar la onda N400 semántica de aquellas otras ondas negativas que aparecen en ese rango de latencia.

Respecto de su topografía, el efecto de la incongruencia semántica es mayor en las regiones parietal y occipital que en la frontal (Kutas & Van Petten, 1994). Además, también es superior en el hemisferio derecho que en el izquierdo. En cuanto a esto hay que recordar que ni la topografía del componente ni su distribución en un determinado hemisferio nos informa sobre el lugar concreto en el que dicha actividad se ha generado. Si bien esta topografía —parieto-occipital y máxima en el hemisferio derecho— es la que se reporta en la mayoría de los artículos que trabajan con incongruencias semánticas, esto es sólo así cuando se

utiliza la modalidad visual de presentación, es decir, cuando los estímulos se presentan a través de una pantalla de ordenador. Por el contrario, la topografía de la N400 es diferente en la modalidad auditiva: en este caso, su distribución es frontal. Asimismo, algunas investigaciones han destacado que, aun usando la modalidad visual, si se reduce el intervalo entre estímulos (SOA – *Stimulus Onset Asynchrony*) el efecto del N400 es mayor en localizaciones frontales (Kutas, 1987; Van Petten & Kutas, 1987).

En cuanto a la latencia de la onda N400 semántica, la mayoría de las investigaciones coincide en apuntar que las diferencias entre estímulos congruentes e incongruentes comienzan a observarse aproximadamente a los 200 ms de su presentación y son máximas en los 400 milisegundos. No obstante, de nuevo se han encontrado diferencias, tanto si la modalidad de presentación es auditiva como si se acorta el intervalo temporal entre la aparición de los estímulos. En ambos casos, el efecto del N400 —esto es, las diferencias entre congruencia e incongruencia— se adelantan.

Finalmente, presentamos un breve resumen de los aspectos más importantes que hasta el momento pueden comentarse sobre el componente N400. Son los que siguen:

- Toda palabra con contenido provoca un componente N400. No obstante no aparece ante las palabras función.
- La amplitud de este componente se relaciona inversamente con la probabilidad de cierre que una palabra tiene en una frase. A mayor ajuste entre la palabra y la frase, la N400 tiene menor amplitud.
- Su amplitud también varía con la posición de la palabra en la sentencia. Así, las primeras palabras —siempre que éstas tengan contenido semántico— provocan mayores N400s que las últimas. Dicho de otro modo: a medida que la sentencia se va cerrando se observan menores amplitudes.
- El componente N400 es independiente de la modalidad de presentación; es decir: aparece tanto en la modalidad visual, como en la auditiva, e, incluso, en el lenguaje de signos.
- La N400 no se manifiesta ante incorrecciones gramaticales. No obstante, es necesario investigar más este punto, ya que ante este tipo de incongruencias

sí se ha observado negatividades en el rango de latencia de los 400 ms, si bien estas últimas presentan una distribución frontal.

- Se han encontrado diferencias entre congruencias e incongruencias semánticas, tanto en el contexto de una sentencia como en palabras aisladas. Dentro de este último grupo, se ha visto que la onda N400 aparece en palabras y en *seudopalabras*, pero no es así cuando se presentan no-palabras.
- El efecto del N400-semántico está ampliamente distribuido en el cuero cabelludo pero presenta máximas diferencias sobre las localizaciones parietales, posteriores-temporales y occipitales. Además, es más amplio sobre el hemisferio derecho que sobre el izquierdo.

3.1.2. PROCESAMIENTO SEMÁNTICO DE MATERIAL NO-VERBAL

Vamos a presentar ahora una serie de investigaciones en las cuales se produce el procesamiento semántico de estímulos no-verbales. Veremos qué patrón de ERPs aparece ante la presentación de una incongruencia cuando ésta es suscitada por el significado que evoca, no una palabra, como hemos visto anteriormente, sino otro tipo de estímulo. Concretamente, expondremos tres grupos de investigaciones. Primero, aquéllas en las que se presentan incongruencias ante la presentación de fotografías o de dibujos que imitan una imagen real. Segundo, las que se han realizado en torno al llamado efecto Stroop. Tercero, las que utilizan estímulos olfativos. Todas ellas coinciden en defender que el componente N400-clásico no es exclusivo del lenguaje, sino que, más bien, es un indicador de la incongruencia semántica en general.

3.1.2.1. DIBUJOS

Como indicábamos más arriba, algunos investigadores afirman que la onda N400 no es un componente exclusivo del procesamiento semántico de palabras, sino que es un indicador del procesamiento semántico en general. En efecto, veremos a continuación cómo se han llevado a cabo una serie de experimentos en los cuales aparecen N400s cuando se produce una discrepancia semántica provocada por el significado que evoca una imagen. Además, veremos cómo estas investigaciones pueden organizarse siguiendo nuestra antigua clasificación: aquélla que diferenciaba

las ondas N400s encontradas en el contexto de una sentencia de aquéllas que aparecían ante discordancias en palabras aisladas.

Comenzaremos por el primer grupo, es decir, aquél que trabaja con sentencias. Queremos destacar el trabajo de Nigam, Hoffman y Simons (1992). Estos autores encontraron una onda N400 cuando una sentencia terminaba de forma incongruente, tanto si se presentaba al final una palabra como si se presentaba un dibujo. Además, no había diferencias entre las dos N400s —la verbal y la no-verbal— ni en amplitud, ni en latencia, ni en distribución sobre el cuero cabelludo. Estos resultados les llevan a concluir que la N400, que en otras investigaciones se había asociado a la activación del sistema lingüístico, en realidad es un indicador de la activación en la memoria conceptual del significado, bien de una palabra, bien de una imagen. Dicho de otro modo: dibujos y palabras acceden a un sistema semántico amodal común.

Años después, Ganis, Kutas y Sereno (1996) llevaron a cabo una investigación similar a la de Nigam et al., pero en esta ocasión utilizaron más localizaciones. No habíamos comentado que uno de los problemas que presentaba la investigación que expusimos en el párrafo anterior radicaba en el hecho de que sus autores habían registrado la actividad eléctrica cerebral sólo en cinco localizaciones, entre las cuales, no se incluía ninguna localización frontal. Por el contrario, Ganis et al. trabajaron con 26 electrodos. En esta nueva investigación los resultados obtenidos confirman parcialmente los de Nigam et al. A saber: de una parte, las imágenes incongruentes al final de la sentencia provocan una onda negativa tipo N400 muy similar a aquélla obtenida por las palabras; de otra, existen diferencias entre ellas en cuanto a su latencia y topografía. Estas diferencias son las siguen: la onda N400 de los dibujos es frontal y tiene una latencia más corta que aquélla obtenida con las palabras. A partir de estos resultados, Ganis et al. concluyen que *los códigos lingüísticos y los de las imágenes se procesan en sistemas neurales similares aunque parcialmente no solapados* (Ganis et al., 1996, p. 102).

Respecto al segundo grupo de investigaciones que anunciábamos al principio, aquél interesado en discordancias provocadas por imágenes pero fuera del contexto de una sentencia, encontramos una referencia en Barrett y Rugg (1990). Estos autores presentaron a los sujetos pares de imágenes que mantenían o no entre sí

una relación de congruencia semántica, y les pedían que indicaran si las dos imágenes estaban o no relacionadas. Sus resultados mostraron la aparición de una onda negativa con pico en los 450 ms siempre que se producía una incongruencia. Esta onda negativa iba acompañada de otro pico negativo en el rango de los 300 milisegundos. Esta última también era máxima en las incongruencias. Si bien la onda N450 no presentaba una clara topografía, la N300 presentaba una distribución frontal. La conclusión a la que llegan es que su N450 pertenece a la familia de las N400s semánticas, mientras que la N300 es específica del procesamiento de dibujos, puesto que esta última no aparece en los estudios en los que se ha trabajado con incongruencia semántica entre palabras. Al final de su artículo afirman que *el componente N400 es sensible a las relaciones semánticas entre estímulos no verbales. Por tanto, algunos aspectos de la preparación semántica en palabras y en estímulos no-lingüísticos comparten un substrato neural común.* (p. 210). Encontramos resultados similares en Holcomb y McPherson (1994) y McPherson y Holcomb (1999), los cuales coinciden con Nigan et al. en afirmar que la onda N400 es un índice del procesamiento semántico amodal. No obstante, unos y otros, advierten las diferencias en topografía que presenta la N400 no-verbal con la N400 verbal.

3.1.2.2. TAREAS TIPO STROOP

Incluimos aquí una serie de investigaciones en las cuales se han reportado ondas negativas en el rango de los 400 ms tanto utilizando el paradigma Stroop clásico como en tareas tipo Stroop. Comenzaremos repasando en qué consisten estas tareas. Si partimos del paradigma Stroop clásico, debemos recordar que la primera vez que se reporta es en el año 1935 y que ha sido muy utilizado en Psicología Cognitiva. Aunque la mayoría de las investigaciones que lo estudian han usado, principalmente, como variable dependiente el tiempo de reacción, en los últimos años se han incorporado a su estudio distintas variables psicofisiológicas; por ejemplo, ERPs o electromiografía. El llamado efecto Stroop (Stroop, 1935) se produce cuando presentamos una palabra que denota un color escrita en tinta de un color distinto al que denota la palabra. Por ejemplo: la palabra *Azul* escrita en color rojo. En estas situaciones se ha observado que el tiempo de reacción para nombrar el color de la tinta es superior si hay incongruencia entre la palabra y el color. Se dice que este incremento en el tiempo de reacción se debe a que tiene lugar una

interferencia entre la palabra y el color. A partir de este primer experimento, se han realizado muchos más (puede encontrarse una espléndida revisión en MacLeod, 1991), en los cuales no sólo se ha reproducido el paradigma clásico, sino que se han presentado varias adaptaciones. Estas adaptaciones son conocidas como tareas tipo Stroop y, entre otras, destacan aquéllas en las que la tarea impuesta al sujeto consiste en emitir un juicio igual-diferente. Por ejemplo, decidir si una palabra que denota un color y una tarjeta pintada coinciden.

Retomando el tema que nos ocupa —el componente N400 y las incongruencias semánticas—, parece clara la relación que existe entre éste y las tareas Stroop. En estas últimas siempre hay una incongruencia entre el significado de una palabra (las llamadas palabras-color) y el significado que denota un color (la mancha de tinta). En efecto, si en aquéllas se producía una discrepancia semántica, en éstas también. Así pues, no es extraño que en los últimos años, varios estudiosos de los ERPs se hayan interesado en analizar la actividad eléctrica que aparece ante una interferencia palabra-color. A continuación comentaremos las investigaciones más representativas.

Katayama y Yagi (1992) trabajaron con una tarea de verificación de sentencias en la cual los estímulos tenían la siguiente forma: *Rojo es azul*. Estas frases podían ser de dos tipos: primero, el sujeto era una palabra y el objeto una mancha de tinta; segundo, viceversa (esto es: el sujeto era una mancha de tinta y el objeto una palabra). Además, tanto unas como otras, bien eran afirmativas, bien eran negativas. Así pues existían cuatro tipos de sentencias: afirmativa-verdadera, afirmativa-falsa, negativa-verdadera y negativa-falsa. La tarea impuesta a los sujetos consistía en verificar las sentencias. Sus resultados mostraron que siempre que se producía una incongruencia entre el sujeto y el objeto de la oración —independientemente de la veracidad o falsedad de la sentencia, y tanto si el objeto era una palabra como una mancha de color— se producía una onda negativa en el rango de los 400 milisegundos. No obstante, estas diferencias entre los estímulos congruentes e incongruentes no presentan una topografía clara; es decir: su efecto se observó en todas las localizaciones registradas. A raíz de estos resultados, Katayama y Yagi concluyen que esta negatividad es el componente N400 semántico comentado por Kutas y Hillyard. En consecuencia, vemos cómo en sus conclusiones defienden lo siguiente: no sólo una palabra, sino también un estímulo físico que

accede al léxico mental provoca el componente N400. Esta conclusión está en la línea de las que hemos expuesto en el párrafo anterior, donde vimos que al presentar una imagen que se desvía de un contexto semántico se manifiesta una onda tipo N400. En definitiva, parece que el componente N400 no es específico de las incongruencias producidas ante material verbal, sino que aparece ante cualquier tipo de incongruencia semántica.

Años más tarde, Rebai, Bernard y Lannou (1997) trabajaron también con una tarea tipo Stroop, pero a diferencia de Katayama y Yagi, no trabajaron con sentencias, sino con palabras aisladas. Su experimento consistió en lo siguiente: presentaron a los sujetos, bien una serie de palabras que denotaban un color, o bien una serie de cruces; ambos tipos de estímulos estaban escritos en varios colores. Encontraron una onda N400 siempre que se producían incongruencias entre el color que denotaba la palabra y el color en que ésta estaba escrita. Dicho en otras palabras: una onda N400 aparecía cuando se producía un conflicto entre el nombre de un color —la palabra escrita en la pantalla— y la evocación mental que producía su color —la tinta en que estaba escrita—. Además, esta onda N400 tenía una clara localización centro-parietal. Dadas las semejanzas que esta N400 presenta respecto de la N400-semántica reportada por Kutas y Hillyard, estos autores concluyen que se trata del mismo componente.

Recientemente, Liotti, Woldorff, Perez y Mayberg (2000) han estudiado el efecto de la interferencia palabra-color en tres modalidades de respuesta diferentes: una respuesta verbal abierta, una respuesta verbal encubierta y una respuesta manual. En la primera modalidad los sujetos debían decir en voz alta el color de la palabra; en la segunda, debían decirlo para sí mismos; y, en la tercera, debían apretar el botón que le correspondía. En los tres casos se encontró una negatividad con pico en los 410 milisegundos cuando se producía una incongruencia entre la palabra y el color. Por otra parte, West y Alain (1999) utilizando una tarea manual encontraron unos resultados muy similares; no obstante, en esta ocasión la mayor negatividad en la incongruencia palabra-color era máxima en la región fronto-central y en el hemisferio derecho. Si bien Liotti et al., y West y Alain, reportan una onda negativa asociada a la incongruencia entre la palabra y el color, no se refieren a ella, en ningún momento, como componente N400. La razón que alegan unos y otros es que la negatividad que aparece ante la interferencia palabra-color es más sostenida que

el componente N400-semántico, de manera que se trata, más bien, de una onda negativa lenta.

Antes de finalizar con este apartado queremos mencionar que existen varios estudios anteriores al de Katayama y Yagi (1992) en los cuales se había trabajado con tareas Stroop y ERPs (Duncan-Johnson & Kopell, 1981; Aine & Harter, 1984a y b). No obstante, en ellos no se reporta ningún dato acerca de la onda N400 ni de la onda negativa lenta. A nuestro juicio, esto podría deberse a que no estaban interesados en este componente y centraron su atención en la ventana correspondiente a la onda P300.

3.1.2.3. ESTÍMULOS OLFATIVOS

Recientemente nos ha sorprendido un grupo de investigadores de la Universidad de Warwick quienes han descubierto un componente N400 olfativo. En efecto, Castle, Van Toller y Milligan (2000), Grigor, Van Toller, Behan y Richardson (1999) y Sarfarazi, Cave, Richardson, Behan y Sedgwick (1999) obtienen una onda negativa similar al componente N400-clásico al presentar incongruencias semánticas entre un aroma y la imagen de un objeto (por ejemplo, un olor de limón junto a la imagen de una rosa). Independientemente de la tarea impuesta a los participantes —en unos casos era indicar si aroma y objeto estaban o no relacionados semánticamente, mientras que en otros consistía en una tarea en la que no se implicaba directamente al aroma presentado— siempre se ha obtenido una onda similar al componente N400-semántico cuando se producía una discordancia entre ambos estímulos —aroma y objeto—. Estos resultados han llevado a estos autores a concluir que *el componente N400 no es específico del lenguaje* (Castle, Van Toller & Milligan, 2000, p. 130) y que *refleja actividad neuronal durante un proceso cognitivo amodal* (Sarfarazi et al, 1999, p. 154). No obstante, igual que ocurría con la onda N400 que aparece al presentar incongruencias en imágenes, esta onda N400-olfativa presenta una distribución topográfica distinta del componente N400-semántico. No nos detenemos aquí a comentarla puesto que será ampliamente abordadas en el siguiente epígrafe.

3.1.2.4. TOPOGRAFÍA Y LATENCIA DE ESTOS N400s

En cuanto a la onda negativa encontrada por Katayama y Yagi (1992) en las tareas tipo Stroop nada se opone a que consideremos que se trata de la típica N400-semántica. En efecto, si volvemos a la definición que Donchin et al. (1978) dan de componente cuando lo definen a partir de su polaridad, latencia, distribución en el cuero cabelludo y sensibilidad a las características de la manipulación experimental, vemos cómo ambas ondas negativas coinciden en latencia, amplitud, topografía y en el tipo de manipulación que las provoca. Respecto de esta última característica, queda claro que, en ambos casos, la onda N400 aparece ante una incongruencia semántica, independientemente de si la incongruencia la produce una palabra o una mancha de color.

Por lo que se refiere a las N400s semánticas provocadas por imágenes, hemos visto cómo éstas son muy similares a aquéllas que aparecen al presentar incongruencias ante estímulos verbales (que ya hemos presentado en el epígrafe anterior). No obstante, también hemos podido comprobar que existen diferencias entre ellas, básicamente en cuanto a su topografía: si bien las del primer grupo son centro-parietales, las del segundo presentan mayor amplitud en las regiones temporal, temporal-parietal y central. Este hecho hace que no haya acuerdo entre los distintos investigadores sobre si se trata o no del mismo componente. Si nos ceñimos a la definición de Donchin et al. la respuesta es clara: no es el mismo componente puesto que, a pesar de coincidir en latencia, amplitud y tipo de manipulación que las provoca (esto es: incongruencias semánticas), no presentan la misma topografía.

En nuestra opinión, aunque según la definición de Donchin las diferencias topográficas constituyen un argumento para justificar que las dos negatividades son componentes distintos, ambas están asociadas a un mismo proceso psicológico. Nos referimos a que, independientemente de que el material utilizado sean palabras o imágenes, una onda negativa con una latencia y una amplitud características aparece ante la incongruencia semántica. Consideramos, en definitiva, que en ambos casos el proceso psicológico implicado es el mismo, y que las diferencias topográficas pueden justificarse por las diferencias en el material utilizado: parece

lógico que al presentar materiales diferentes —palabras o imágenes— se activen áreas cerebrales distintas.

Un caso similar lo encontramos en el grupo de investigaciones sobre incongruencias con estímulos olfativos. En estos estudios se reporta una onda negativa tardía, con latencia aproximadamente en los 400 ms, que aparece ante una incongruencia entre un aroma y una imagen. Hasta aquí, N400 olfativo y N400 semántico presentan características similares, sin embargo, cuando pasamos a comparar su topografía aparecen las discrepancias. En este punto, la comparación es especialmente grave puesto que los propios resultados del análisis topográfico del N400 olfativo son contradictorios. Se ha encontrado, por una parte, un N400 que presenta máximas diferencias en Fz, Cz, CPz y Pz (Grigor et al., 1999); por otra parte, otro N400 olfativo frontal y máximo en el hemisferio izquierdo (Sarfarazi et al., 1999); por último, el N400 reportado por Castle et al. (2000) no presenta una clara topografía. En resumen, es necesario indagar más acerca de la distribución topográfica de esta onda negativa que aparece ante discordancias entre un aroma y una imagen, no obstante, el proceso psicológico subyacente a esta tarea es, a nuestro juicio, el mismo que se produce en las tareas que se utilizan para obtener el componente N400-clásico: incongruencia semántica.

3.2. NEGATIVIDADES TARDÍAS EN TAREAS QUE NO IMPLICAN PROCESAMIENTO SEMÁNTICO

Si bien existen excelentes revisiones que recogen las investigaciones llevadas a cabo con potenciales evocados en el campo de la psicolingüística, todavía no se ha publicado ningún trabajo en el cual se exponga, de forma sistemática, aquellas negatividades en el rango de los 400 ms asociadas a tareas que no requieren el procesamiento semántico del estímulo. Este es el objetivo que nos proponemos alcanzar en las siguientes páginas. Vamos a mostrar experimentos en los que se han obtenido ondas negativas que aparecen en el rango de los 400 ms cuando el sujeto se encuentra con algún tipo de incongruencia no-semántica. Con la expresión *incongruencia no-semántica* queremos significar aquellas situaciones en las que se produce una discordancia entre el material presentado y el que espera el sujeto; ahora bien, siempre que no se trate de un conflicto semántico en el sentido

lingüístico del término —aquí se incluirían todas las investigaciones que presentan ondas N400 semánticas, las cuales han sido ampliamente comentadas en apartados anteriores—.

Si nos remontamos a la primera vez que se cuestiona la especificidad semántica del componente N400, habremos de ir al año 1983. En efecto, en esta fecha, Stuss, Sarazin, Leech y Picton (1983) encuentran una onda negativa similar al componente N400-semántico en una tarea de rotación mental. Su experimento consistió en lo siguiente. Un grupo de sujetos realizó dos tareas: en la primera se les presentaba un dibujo y debían decir de qué se trataba, es decir, tenían que nombrarlo; en la segunda, se les presentaban dos imágenes, una de ellas rotada, y se les pedía que indicaran si ambas imágenes eran o no iguales. En sus resultados encuentran una onda N400, que ellos denominan Ny, tanto en la tarea de nombrar como en la tarea de rotación mental. Además, afirman que esta Ny es similar en morfología y latencia a otras ondas negativas obtenidas en experimentos que requieren el procesamiento semántico de estímulos visuales. Refiriéndose a la onda Ny, que aparece en la tarea de rotación mental, concluyen:

Esta tarea visual no-semántica genera un complejo negativo que es muy similar a la onda Ny en la tarea de nombrar. Este resultado indica que la onda Ny no es específicamente semántica. Podría representar algún proceso que se requiere en la evaluación de estímulos complejos (Stuss et al., p. 143).

Otra de las primeras investigaciones en las cuales se cuestiona la especificidad semántica de la onda N400 es la de Polich (1985). En esta ocasión, se presentó a un grupo de sujetos cuatro tipos diferentes de estímulos. A saber: primero, sentencias sintáctica y semánticamente correctas; segundo, series compuestas por palabras que pertenecían a una misma categoría semántica; tercero, series ordenadas de números; cuarto, series de letras ordenadas alfabéticamente. Todas las series se formaron con siete ítems, ya fueran palabras, números o letras. Además, cada serie podía terminar de cuatro maneras distintas, resultado de combinar un final congruente o incongruente con la serie o sentencia que lo precedía y un final de igual o diferente tipografía. Así pues, los estímulos finales eran éstos: congruente con tipografía normal, congruente con tipografía distinta,

Incongruente con tipografía normal e incongruente con tipografía distinta. Los resultados de esta investigación mostraron la aparición de una onda tipo N400 siempre que el final de la serie era incongruente, y esto era así tanto si se trataba de una sentencia como si se trataba de series de palabras, números o letras. Además, esta negatividad se encontró en las tres localizaciones que se utilizaron, aunque su amplitud fue máxima en la región central y frontal. A causa de estos resultados, Polich concluye lo siguiente: no sólo una incongruencia semántica provoca una onda N400, por lo que este componente no es específico del procesamiento semántico.

A partir de aquí, han sido muchas las investigaciones que han cuestionado la especificidad del componente N400. En efecto, veremos trabajos en los cuales se han encontrado ondas negativas similares a este componente utilizando tareas de tipos muy diversos. Dado que, en definitiva, lo que ahora nos interesa es comparar la onda N400-semántica con las otras ondas negativas, hemos considerado clarificador ofrecer éstas últimas organizadas de igual forma que presentábamos aquélla. Pues bien, si allí mostrábamos dos grandes grupos de trabajos —aquéllos que agrupan investigaciones en las que se trabaja con estímulos de tipo verbal y aquellos otros donde el material utilizado no es verbal—, aquí haremos lo mismo.

3.2.1. PROCESAMIENTO NO-SEMÁNTICO DE MATERIAL VERBAL

Vamos a recuperar la definición que dimos en su momento de *material verbal*. Por *material verbal* entendemos aquellos estímulos que adoptan la forma de palabras o sentencias. Son, precisamente, las investigaciones que trabajan con este tipo de material las que vamos a abordar a continuación. Ya vimos un grupo de trabajos que lo utilizaba. En ellos, además de que el material era verbal, el procesamiento semántico del estímulo era relevante para la tarea. Nos referimos a las investigaciones que obtenían componentes N400 semánticos (éstas fueron ampliamente comentadas en un epígrafe anterior). A diferencia de estas investigaciones, las que nos ocupan ahora muestran experimentos en los cuales el material es verbal y la tarea impuesta al sujeto se caracteriza por lo siguiente: en unas ocasiones no requiere el procesamiento semántico del estímulo; en otras sí se requiere, pero en el material presentado no se produce ningún conflicto entre significados. En síntesis, nuestra intención es exponer investigaciones en las que se

han obtenido negatividades similares a la onda N400-semántica utilizando materiales en los que no se presentan incongruencias semánticas. Es decir, situaciones en las que se han manifestado ondas tipo-N400, aun cuando no se esperaban.

La revisión teórica nos ha llevado a descubrir tres grupos de investigaciones en las que concurren las siguientes circunstancias: primera, aparición de ondas negativas en el rango de los 400 ms; segunda, procesamiento no-semántico del estímulo; tercera, utilización de material de tipo verbal. Tales investigaciones se presentarán en este orden: en primer lugar, aquéllas en que la tarea impuesta al sujeto consiste en verificar una sentencia; después, las que implican valorar si dos palabras riman o no; y, finalmente, aquéllas donde se presentan incongruencias sintácticas.

3.2.1.1. VERIFICACIÓN DE SENTENCIAS

En otro apartado mostrábamos una serie de investigaciones en las que se trabajaba con una tarea de verificación de sentencias, y donde se manifestaba el componente N400 siempre que se producía una incongruencia semántica entre el sujeto y el predicado de la oración. Nos referimos a los trabajos de Fischler et al. (1983) y Kounios y Holcomb (1992). Haremos un breve repaso de lo dicho allí. En ambos trabajos se presentaron sentencias en las que se ponía en relación un miembro de una categoría semántica con una categoría general. Por ejemplo: *A robin is a bird*, en el caso de Fischler et al.; o, *All dogs are animals*, en el caso de Kounios y Holcomb. Tanto en un caso como en otro, observaron en sus registros la onda N400 siempre que se producía una incongruencia semántica entre el sujeto y el objeto de la oración. Así pues, cabía pensar que el componente N400 era un indicador del procesamiento semántico, puesto que era la incongruencia semántica, y no la veracidad o falsedad de la sentencia, la que provocaba su aparición.

En este epígrafe vamos a presentar algunos trabajos en los que la tarea puesta en juego consiste, también, en verificar una sentencia. No obstante, a diferencia de los anteriores, en este grupo no se produce, en ningún caso, incongruencia semántica entre el sujeto y el objeto. Se produce simplemente una discrepancia entre la información presentada y la recordada, cuando la sentencia es falsa.

La primera referencia está en Fischler, Bloom, Childers, Arroyo y Perry (1984). En este trabajo, las sentencias recogen información personal del sujeto que puede ser muy familiar para él (*My name is Ira*) o menos familiar (*My shoe size is eight*). Sin duda, en ambos casos, tanto si la sentencia es verdadera como si la sentencia es falsa, no hay incongruencia semántica entre el sujeto y el objeto de la oración. Por el contrario, sí se produce una discrepancia entre la información presentada y la recordada. Obviamente, esto último sólo ocurrirá si la sentencia es falsa. Los resultados de este estudio muestran una onda negativa con pico en los 340 ms cuando las sentencias eran falsas. Sin embargo, se observó un pico positivo en la misma latencia en caso de que la oración fuera verdadera. Pero hay más: las diferencias en voltaje entre verdadero y falso eran mayores cuando la información que recogía la sentencia era *muy familiar* que cuando ésta era *menos familiar* —la amplitud de la onda N340 aumentaba cuanto más familiar era para el sujeto la información contenida en la sentencia—. Además, en ambos tipos de oraciones —alta y baja familiaridad—, las diferencias eran mayores en las localizaciones centrales que en las frontales. Es preciso mencionar aquí que únicamente se colocaron electrodos en regiones centrales y frontales. En resumen, la onda N340, máxima en regiones centrales, se asocia a sentencias falsas y su amplitud es menor cuando la información es menos familiar. Fischler et al. concluyen que *esta negatividad es un reflejo más directo de la familiaridad a largo plazo o de la fuerza de la información en la memoria que de cambios en las expectativas desarrolladas a medida que se accede a la memoria a largo plazo durante la sesión* (Fischler et al. 1984, p. 565).

Fischler, Childers, Achariyapaopan y Perry (1985) realizan un experimento parecido al anterior, pero aquí las sentencias no recogen información personal del sujeto sino una serie de afirmaciones aprendidas en el laboratorio. Por ejemplo: *Matthew is a dentist*. De nuevo, la tarea que se requiere del sujeto consiste en verificar las sentencias. Los resultados son los que siguen: encuentran, otra vez, una onda negativa ampliamente distribuida en la ventana de 200 a 420 ms cuando la sentencia es falsa. Esta onda presenta un pico en los 320 ms por lo cual Fischler et al. la denominan N320. Además, este componente aparece tanto si se pide al sujeto una respuesta manifiesta —apretar un botón— como si no se le pide. En ambos casos no se observan diferencias ni en latencia ni en amplitud. Según lo

dicho, todo parece apuntar que esta onda es automática y se obtiene cuando hay una incongruencia entre la información presentada y la que espera el sujeto. Hay que añadir a lo anterior que esto es así en un caso donde la información es arbitraria (es decir, aprendida de forma artificial en el laboratorio).

Finalmente, encontramos nuevas evidencias de una onda negativa tardía asociada al grado de falsedad de una sentencia en Fischler, Jin, Boaz, Perry y Childers (1987). Estos autores presentan oraciones del tipo *My name is X*, donde *X* podía ser el nombre verdadero de la persona, un nombre asumido o un nombre falso. Los sujetos debían responder positivamente al nombre asumido y rechazar como falsos los otros nombres —incluido el propio—. Ya anticipamos que los resultados de esta investigación confirman los anteriores trabajos de Fischler et al. En efecto: una vez más, una onda negativa con pico en los 380 ms aparece ante los nombres falsos. No obstante, este experimento aporta nuevos datos, puesto que no sólo hay diferencias entre los nombres falsos y los otros dos tipos, sino que, también, las hay entre el nombre asumido y el nombre verdadero. Tales diferencias son éstas: el nombre asumido provoca una mayor negatividad tardía que el nombre verdadero; sin embargo, esta negatividad es menor que la que se observó en los nombres falsos. En suma: la amplitud de la onda N380 varía en función del grado de falsedad de la sentencia, siendo máxima en las sentencias claramente falsas. Además, en cuanto al análisis topográfico, las diferencias que hemos comentado respecto de los tres tipos de nombres se observan en las tres localizaciones utilizadas (Fz, Cz y Pz).

Para terminar decir que hay un artículo reciente en el que se cuestionan los resultados obtenidos por Fischler et al. (1984, 1985, 1987). Se trata de la investigación de Pollina y Squires (1998). Estos autores trabajan con una tarea de verificación de sentencias en la que no hay evidencia de la onda N400, o, lo que viene a ser lo mismo, donde el patrón de ERPs en el rango de latencia de los 400 ms para sentencias verdaderas y falsas es muy similar. En palabras de estos autores: *Subjects' truth-value judgements had no effect on the N400* (Pollina & Squires, 1998, p. 321). En consecuencia, se impone la necesidad de que se produzca más investigación sobre este tema para delimitar si la onda N400 está o no asociada al grado de veracidad de una sentencia. Además, hay que recordar que al principio de este epígrafe nos referíamos a dos estudios en los cuales se había

afirmado que esta onda era sensible a la relación semántica entre el sujeto y el objeto de la oración, pero no a la veracidad o falsedad de la sentencia. En definitiva, unas y otras investigaciones hacen que el asunto sea controvertido y requiera ser investigado con mayor profundidad.

3.2.1.2. RIMA

En este apartado vamos a presentar un grupo de investigaciones en las que se ha obtenido un componente negativo en el rango de los 400 ms ante incongruencias fonológicas. Se trata de ondas tipo N400 que aparecen cuando se presenta una palabra que no rima con la anterior.

El primer estudio de este tipo lo encontramos en Rugg (1984 a, b). Este autor presentó pares de palabras y no-palabras que podían rimar o no entre sí. Sus resultados muestran un componente negativo con pico entre los 400 y 450 ms que fue mayor cuando no había rima que cuando sí la había. Además, este componente era sensible a la fonética de los estímulos con independencia de que se tratara de palabras o de no-palabras. A partir de este descubrimiento, Rugg afirma que los componentes N400s no sólo están asociados con incongruencias semánticas, sino que también lo están con las discrepancias fonéticas. No obstante, para diferenciar uno y otro componente, Rugg denomina a este último N450. En cuanto a la topografía de esta onda, se trata de un componente claramente asimétrico: en efecto, las diferencias entre rima y no-rima son más marcadas en el hemisferio derecho que en el izquierdo. No hay, sin embargo, una o varias localizaciones concretas donde su amplitud sea máxima. Este trabajo pionero ha sido reproducido en varias ocasiones (véase por ejemplo, Praamstra, Meyer & Levelt, 1994; Rugg, 1985; Rugg & Barret, 1987) alcanzándose resultados muy parecidos.

Otro grupo de estudios relacionados con los anteriores ha demostrado que la onda N450-fonética es resistente a la modalidad de presentación de los estímulos. En efecto, se han llevado a cabo varios trabajos que así lo manifiestan. Por ejemplo, Radeau, Besson, Fonteneau y Castro (1998) encuentran una onda N450 utilizando la modalidad auditiva, mientras que Barret y Rugg (1990) la encuentran presentando pares de dibujos que tienen nombres que no riman. Finalmente, queremos hacer mención del trabajo de Pérez, Rodríguez, Bobes, Gutiérrez y

Valdés-Sosa (1994) quienes utilizan una tarea semántica y una de rima con tres tipos de presentaciones: auditiva (palabras), visual (palabras) y dibujos. Utilizando tres grupos de sujetos —cada uno de los cuales recibía los estímulos en un tipo de modalidad diferente—, encuentran que el componente N400 se manifiesta siempre que se presenta una incongruencia en la tarea semántica, mientras que la onda N450 se obtiene cuando la incongruencia se expone en la tarea de rima. Ambas ondas, sin embargo, presentan diferencias en cuanto a su latencia dependiendo de la modalidad de presentación. Estos resultados confirman aquellos otros comentados en un epígrafe anterior, en el cual vimos cómo el componente N400-semántico, aun manifestándose en distintos tipos de presentación, presentaba variaciones en su latencia. Una movilidad similar en latencia se observa también para la onda N450. Comentaremos con más detalle estos resultados cuando exponamos las diferencias en topografía y latencia para este grupo de negatividades.

3.2.1.3. ANOMALÍAS SINTÁCTICAS

En las siguientes páginas recuperamos un componente que ya había sido comentado en un epígrafe anterior: nos referimos a una onda negativa —tipo N400— que aparece ante incongruencias sintácticas. Una breve alusión a esta onda ya la habíamos hecho cuando expusimos los recientes trabajos que ponían en relación los ERPs y el procesamiento sintáctico. Si allí, simplemente, hicimos una escueta mención de la existencia de este componente, nuestro objetivo aquí es ofrecer una visión más amplia y rigurosa del mismo.

Iniciamos nuestra exposición remontándonos a la primera vez que se habla de esta onda en un trabajo científico. Habremos de remontarnos al año 1983. En esta fecha, Kutas y Hillyard (1983) apuntan la presencia de un incremento en la negatividad cuando se presenta una palabra gramaticalmente incorrecta al final de una sentencia. Esta onda negativa está frontalmente distribuida. No obstante, en este trabajo no se declara la existencia de un componente positivo tardío ante este tipo de incongruencias. Recordemos que en los últimos años varios investigadores han manifestado que un componente positivo denominado P600 o SPS es específico del procesamiento sintáctico. Probablemente, esta onda positiva no se detalló en aquel trabajo pionero, no tanto porque no se manifestara, sino porque el interés de

sus autores se centró exclusivamente en la onda N400. Cabe suponer que sólo se interesaron en esa ventana de latencia. Ahora bien; aunque en esta investigación no se comentó nada respecto de la onda P600, fue este trabajo el que originó una línea de investigación especialmente interesada en la utilización de los ERPs para una mayor comprensión del sistema de procesamiento sintáctico.

Varios autores han revelado la existencia de una onda N400-sintáctica. Ya citamos los trabajos de Münte et al. (1993) y de Rösler et al. (1993). Vamos a comentarlos ahora con más detalle. Respecto del primero, estos autores registraron ERPs ante la presentación de la segunda palabra de un par. Esta segunda palabra mantenía una relación con la primera que podía ser de cuatro tipos diferentes. A saber: semánticamente relacionada, semánticamente no relacionada, gramaticalmente correcta o gramaticalmente incorrecta (por ejemplo: *gangster-robber* para el primer tipo; *parliament-cube*, para el segundo; *you-spend*, para el tercero; y *your-write*, para el cuarto). Sus resultados mostraron una onda negativa con pico aproximadamente en los 400 ms siempre que se producía una incongruencia entre los dos miembros del par. Dicho de otro modo: se obtuvo una negatividad tipo N400 para la segunda palabra del par, tanto si ésta no mantenía una relación semántica con la primera, como si provocaba con aquélla una incongruencia gramatical. Aunque ambos tipos de incongruencias originaban una onda N400, éstas no eran exactamente iguales: en la condición de no-relación semántica, la onda N400 es centroparietal y algo mayor en el hemisferio derecho, mientras que en la condición de relación no-gramatical la negatividad es mayor en las regiones frontales y en el hemisferio izquierdo. Además, también hay una pequeña diferencia en latencia entre los dos componentes, siendo éste un poco más tardío —unos 50 ms— en la incongruencia gramatical. En definitiva, Münte et al. concluyen que *las dos negatividades representan la actividad de dos poblaciones neuronales parcial o completamente diferentes* (Münte et al. 1993, p. 338).

Rösler et al. (1993) encuentran resultados similares pero en esta ocasión no utilizan pares de palabras sino sentencias. La tarea impuesta al sujeto era tomar una decisión léxica respecto a la serie de letras que aparecía al final de la sentencia. Cuando dicha serie de letras era una palabra, ésta podía ser de cuatro tipos: por un lado, congruente o incongruente semánticamente con el resto de la oración; por otro, esta palabra era sintácticamente correcta o incorrecta. De nuevo, tanto uno

como otro tipo de incongruencia provocaban una onda N400. Además, ambas anomalías presentaban una topografía distinta: posterior para la incongruencia semántica y frontal para la gramatical. Esta última, a su vez, es máxima en el hemisferio izquierdo. Como consecuencia de estos resultados, Rösler et al. concluyen que los subsistemas de análisis sintáctico y semántico son funcionalmente distintos.

A partir de las conclusiones de estas dos investigaciones y de otras similares (Coulson, King & Kutas, 1998; Friederici, Hahne, & Mecklinger, 1996; Gunter, Stowe & Mulder, 1997; Kluender & Kutas, 1993; Neville, Nicol, Barss, Forster & Garret, 1991; Osterhout & Holcomb, 1992) se ha denominado a este nuevo componente *LAN* (*Left Anterior Negativity*). En resumen: 1º, se trata de una onda negativa que aparece ante las anomalías sintácticas; 2º, acostumbra a ir seguido de un componente positivo tardío —la onda P600 o SPS—; 3º, su latencia oscila entre los 300 y 500 milisegundos; 4º, presenta máxima amplitud en regiones anteriores —de ahí su nombre—; 5º, su efecto es superior en el hemisferio izquierdo. No obstante, el significado funcional de este componente continúa sin estar claro. Algunos autores lo asocian a la memoria de trabajo (King & Kutas, 1995; Kluender & Kutas, 1993); otros, a un paso inicial previo a la asignación sintáctica (Friederici, 1995; Friederici & Mecklinger, 1996). En definitiva, es preciso trabajar más al respecto con el fin de determinar la naturaleza de este componente.

3.2.1.4. TOPOGRAFÍA Y LATENCIA DE ESTOS N400s

A continuación vamos a detallar la topografía y la latencia de las ondas negativas que hemos comentado en los epígrafes anteriores. Para llegar a esto habremos de repasar las distintas investigaciones presentadas, pero, ahora, centrándonos exclusivamente en los dos aspectos que ahora nos ocupan: la latencia de estas ondas negativas y su localización en el cuero cabelludo.

Comenzaremos por las investigaciones en las que se han obtenido ondas negativas ante la presentación de sentencias falsas (Fischler et al., 1984, 1985, 1987). A pesar de que este grupo de ondas tiene una latencia más corta que el componente N400-clásico —queremos decir, la onda N400-semántica—, sus autores las denominan N400. En efecto, las negatividades a las que nos referimos presentan

picos en los 320, 340 y 380 ms, dependiendo del experimento. La onda N400-semántica, en cambio, acostumbra a tener el pico en los 400 milisegundos, aunque su latencia también presenta variabilidad entre experimentos. Sin ir más lejos, en una investigación con verificación de sentencias, en la cual se producía una relación de incongruencia semántica entre el objeto y el sujeto, encontramos una onda negativa con pico en los 310 milisegundos (Katayama, Miyata & Yagi, 1987). Es más, en un trabajo similar de Fischer et al. (1983) la onda negativa presentaba un pico en los 350 milisegundos.

En cuanto a la topografía de estas ondas negativas, no es nada clara, y las razones son dos: de una parte, se utilizan pocos electrodos; de otra, vemos que las localizaciones no sólo son escasas, sino que, además, no siempre son las mismas. Así, por ejemplo, en el primer trabajo sólo se registran ERPs en Cz, C3, C4, F3 y F4; en el segundo se utilizan Fz, Cz, Pz, C3 y C4; en el tercero se usan, únicamente, Fz, Cz y Pz. Esto hace que las tres ondas reportadas no sean comparables en su topografía. Pero aún hay más: no es posible confrontarlas con la onda N400-semántica puesto que ésta es máxima en regiones parietales, localizaciones que no se han registrado en estos experimentos. En definitiva, el componente asociado a la falsedad de la sentencia no tiene una topografía nítidamente definida, por lo que no podrá ser comparado, en este sentido, con la onda N400-clásica.

El segundo grupo de investigaciones a que nos hemos referido reporta una onda N450 asociada a las incongruencias fonológicas. En cuanto a su latencia, ya hemos mencionado que cuando las palabras se presentan visualmente esta onda tiene una latencia un poco más tardía que el componente N400-clásico. No obstante, las diferencias son muy pequeñas. Además, Pérez et al. (1994) han demostrado que la latencia de una y otra —N400 y N450— varía dependiendo de la modalidad de presentación. En efecto, si cuando las palabras se presentan visualmente la onda N450-fonológica tiene una latencia mayor que la onda-semántica, esta diferencia se invierte con la modalidad auditiva. Por otra parte, si el material utilizado son dibujos, esta diferencia se vuelve a invertir, esto es: la onda fonológica se demora en el tiempo respecto de la onda N400-semántica. En suma: la latencia de las ondas N400 y N450 varía en función de la modalidad de presentación, no coincidiendo la latencia de las mismas en ningún caso. Dicho en otras palabras: incongruencias semánticas e incongruencias fonológicas provocan una onda negativa tardía que

presenta pequeñas diferencias en latencia en las diferentes modalidades de presentación del estímulo.

Si entramos en la topografía de la onda N450 vemos que no se halla claramente definida, y las razones son varias: por una parte, los distintos trabajos realizados han utilizado pocas localizaciones; por otra, en muchos casos, bien no ha resultado significativa la interacción *localización x condición*, bien ésta no ha sido analizada. Lo único que sí parece probado es que la onda N450 es asimétrica, siendo máxima en el hemisferio derecho. En este último punto, las ondas N400 y N450 coinciden.

Para acabar, repasaremos la topografía y latencia de la onda LAN. Recordemos que se trata de una onda negativa —con máxima amplitud entre 300 y 500 milisegundos— que aparece ante una incongruencia gramatical. La mayoría de los autores coinciden en indicar que esta onda y la N400-semántica son componentes distintos. El argumento que esgrimen se basa en la diferencia que existe entre ambas ondas en su topografía. Si la onda LAN tiene una amplitud máxima en localizaciones anteriores y sobre el hemisferio izquierdo, el componente N400-clásico es parietal y máximo en el hemisferio derecho. No obstante, es interesante mencionar aquí que si bien la mayoría de las investigaciones coinciden en apuntar que el componente LAN alcanza su máxima amplitud en regiones anteriores, existen unas pocas excepciones. Efectivamente: algunas veces esta negatividad ha obtenido las máximas diferencias en las regiones temporal, central o parieto-temporal; incluso se ha observado sobre el hemisferio derecho (Brown & Hagoort, 2000).

3.2.2. PROCESAMIENTO NO-SEMÁNTICO DE MATERIAL NO-VERBAL

Con este último apartado vamos a cerrar el capítulo correspondiente a las negatividades en el rango de los 400 milisegundos. No obstante, antes de abordarlo, queremos dedicar un instante a recapitular lo que hasta el momento hemos visto. Creemos que esto será útil, tanto para resituar al lector en el marco de esta introducción teórica, como para presentarle la temática de este epígrafe. Hasta aquí, hemos expuesto lo siguiente. De un lado, se ha comentado la existencia de un grupo de ondas negativas que parecen estar asociadas al procesamiento semántico,

ya se trate de material verbal —palabras o sentencias—, ya se trate de material no verbal —por ejemplo, imágenes—. Por otro lado, hemos examinado un grupo de negatividades que aparecen ante tareas donde el procesamiento semántico del estímulo no es relevante. Estas últimas se han presentado, hasta el momento, en trabajos que utilizan material verbal. A continuación nos adentraremos en otro grupo de investigaciones en las que se han obtenido ondas negativas en el rango de los 400 ms, las cuales reúnen dos características: primera, la tarea no requiere el procesamiento semántico del estímulo; segunda, se trabaja con material no-verbal. En fin, es éste el objetivo que nos proponemos alcanzar en las páginas que siguen: exponer las investigaciones en que se da procesamiento no-semántico de material no-verbal y en las que aparecen N400s.

Antes de entrar en estas investigaciones, matizaremos un poco más la naturaleza de las mismas. Se trata de trabajos en los que no se requiere el procesamiento semántico del estímulo, es decir, trabajos en los que no se presenta incongruencia semántica alguna. Dicho de otro modo: estas tareas se diferencian de las tareas que implican procesamiento semántico en que mientras que en aquéllas un conflicto en el ámbito del significado era evidente, en éstas, no lo es en absoluto. Además, los estímulos que se presentan son no-verbales, o sea, no tienen la forma de palabras.

Dentro de este grupo de investigaciones presentaremos tanto aquéllas en las cuales no se ha obtenido una onda N400 como aquellas otras en las que sí se ha producido. Las primeras dicen confirmar la especificidad semántica del componente N400, las otras, por el contrario, cuestionan su especificidad. En el primer grupo destacan los trabajos que utilizan estímulos musicales; en el segundo, aquellos que usan figuras rotadas, caras o números.

3.2.2.1. MÚSICA

Vamos a comenzar esta exposición volviendo la mirada al año 1987, fecha en que Besson y Macar publican los resultados obtenidos tras registrar ERPs ante la presentación de melodías. Este trabajo se origina en respuesta a la discusión iniciada un tiempo atrás acerca de si el componente N400 era realmente un indicador de la *expectación* semántica. Con este objetivo diseñaron y llevaron a cabo su experimento. En él un grupo de sujetos se enfrentaba ante cuatro tipos de

estímulos: 1º, sentencias; 2º, series de figuras geométricas iguales cuyo tamaño incrementaba o disminuía; 3º, escalas musicales con frecuencia ascendente o descendente; 4º, melodías populares. Como es natural, dado que buscaban el componente N400, cada uno de estos tipos de estímulo, bien finalizaba de forma congruente, bien terminaba de forma incongruente. Su hipótesis era ésta: si el componente N400 es un indicador del procesamiento semántico sólo aparecerá ante las anomalías presentadas en sentencias, pero no en los otros tres tipos. Los resultados confirmaron esta hipótesis: una onda N400 se manifestó ante las palabras que completaban las sentencias de forma semánticamente incorrecta; sin embargo, no hubo señal de ella en los otros tres tipos de incongruencias. En definitiva, estos resultados confirman *la interpretación del componente N400 como un correlato electrofisiológico del procesamiento de incongruencias semánticas* (Besson & Macar, 1987, p. 21).

La investigación anterior adolecía de ciertos defectos, por lo que fue objeto de algunas críticas. La más importante hacía referencia al posible solapamiento de los componentes P300 y N400. Tal solapamiento se suponía que se producía por la concurrencia de dos aspectos procedimentales que podrían haber provocado la aparición de una onda P300. Se trata de los siguientes: el primero es consecuencia de la probabilidad de aparición de cada tipo de estímulo⁵; el segundo se asocia al requisito impuesto al sujeto de tomar una decisión⁶. Ambos aspectos estaban presentes en el experimento de Besson y Macar. A raíz de esto, Paller, McCarthy y Wood (1992) realizaron un nuevo experimento con el que trabajando sólo con melodías, intentaron solventar estos problemas. A tal fin, introdujeron los siguientes cambios. De una parte, la congruencia e incongruencia de la nota final era equiprobable. De otra, utilizaron dos grupos de sujetos: unos, que debían tomar la decisión acerca de la idoneidad o no de la nota final de la melodía, y, otros, cuya tarea se limitaba a escuchar con atención. La equiprobabilidad de los dos tipos de finales y la eliminación de la toma de decisiones en la tarea evitaba la aparición de la onda P300, y, en consecuencia, su posible solapamiento con el componente

⁵ En concreto, Besson y Macar presentaron un 25 % de estímulos incongruentes frente a un 75% de estímulos congruentes. Dado que la onda P300 está asociada a la presentación de estímulos poco probables, cabía la posibilidad de que esta onda se manifestara ante las incongruencias.

⁶ La onda P300 se presenta siempre que la tarea impuesta al sujeto requiera una toma de decisiones. Por tanto, en el experimento de Besson y Macar puede ser que este componente se hubiera producido.

N400. No obstante, los resultados obtenidos por Paller et al. no difieren en exceso de aquellos comentados por Besson y Macar: de nuevo, la onda N400 no se manifestó ante las notas que se desviaban de una melodía. Así pues, una vez más, se reforzaba la hipótesis de la especificidad semántica del componente N400.

No será hasta unos años después cuando aflore de nuevo la polémica, aunque sólo ligeramente. En efecto, Besson y Faita (1995) y Patel, Gibson, Ratner, Besson y Holcomb (1998) comentan la presencia de ondas negativas en el rango de los 400 ms cuando se presenta una nota incongruente en una melodía. Por una parte, Besson y Faita muestran en su artículo la presencia de un componente negativo en el rango de latencia de 200 a 600 ms cuando se presentan notas incongruentes en composiciones musicales no familiares. Por otra parte, Patel et al. revelan la existencia de una onda —que denominan N350— ante la presentación de incongruencias melódicas. No obstante, tanto unos como otros, remarcan que esta negatividad es diferente de la onda N400 semántica. Y las razones alegadas son éstas: los primeros argumentan que la negatividad de la incongruencia musical no aparece ante melodías familiares, hecho que entra en contradicción con el conocimiento que hasta ahora se tiene de la onda N400-semántica; los otros se apoyan en las diferencias que ambas ondas —N400 semántica y N400 musical— presentan en topografía y latencia (la distribución es antero-temporal y la latencia más corta para la incongruencia melódica). En definitiva, estos autores, aún exponiendo la existencia de esta negatividad melódica presentan argumentos en contra de que se trate del componente N400. Pero es más, Patel et al. concluyen que esta onda negativa, denominada RATN —*Right anterior-temporal negativity*—, refleja la aplicación de normas específicas para el procesamiento de estímulos musicales. No obstante, destacan la necesidad de realizar nuevas investigaciones a fin de aclarar la naturaleza funcional de esta onda.

No queremos finalizar este epígrafe sin referirnos al trabajo de Besson (1997) donde el lector encontrará una excelente revisión de los estudios sobre el procesamiento de estímulos musicales utilizando ERPs.

3.2.2.2. ROTACIÓN MENTAL

En un epígrafe anterior comentábamos uno de los trabajos que han dado origen a la polémica en torno a la especificidad semántica del componente N400: nos referimos al trabajo de Stuss et al. (1983). En él, se exponía cómo una onda negativa similar al componente N400-semántico se manifestaba en una tarea de rotación mental. De este modo, se cuestionaba que la onda N400 fuera específica del procesamiento semántico, y, en su lugar, se defendía que se trataba de un indicador de un proceso requerido en la evaluación de cualquier estímulo complejo.

Este estudio nos inició en la búsqueda de otras investigaciones en las que se trabajara con tareas de rotación mental y donde, además, se registraran ERPs. Nuestra intención era —igual que hemos hecho con otros grupos de trabajos— seguir la pista de este componente negativo para ver si se confirmaba su similitud con el componente N400-semántico. Pues bien, contrariamente a lo que esperábamos, esta revisión nos llevó a comprobar cómo, en los distintos trabajos con rotación mental consultados (Bajric, Rösler, Heil & Hennighausen, 1999; Desrocher, Smith & Taylor, 1995; Johnson, Coz & Fedio, 1987; Peronnet & Farra, 1989; Rösler, Heil, Bajric, Pauls & Hennighausen, 1995; Rösler, Schumacher & Sojka, 1990; Wijers, Otten, Feenstra, Mulder & Mulder, 1989), no se comentaba nada respecto a la onda N400, sino que, en su lugar, se destacaba la aparición de una onda negativa lenta, máxima en regiones posteriores. En efecto: todas las investigaciones coinciden en señalar que la rotación mental provoca la aparición de una negatividad sostenida que emerge entre los 400 y los 1000 ms tras la presentación del estímulo. Además, se ha comprobado que la amplitud de esta onda lenta varía en función del grado de rotación. Esto es: a medida que incrementamos el grado de rotación se produce un aumento en la amplitud de esta onda negativa. A pesar de que en todas estas investigaciones no se comenta nada respecto de la onda N400 —objeto de estudio de esta tesis— hemos decidido incluirlas aquí porque el trabajo de Stuss et al. suele citarse siempre que se expone la problemática de la especificidad semántica del componente N400 (véase por ejemplo, Pritchard, Shappell & Brandt, 1991). No obstante, en nuestra opinión, toda la investigación posterior llevada a cabo con rotación mental, cuestiona que la onda N400 a la que se refiere Stuss et al. fuera en realidad una onda N400 y no una onda negativa lenta.

Para finalizar, vamos a comentar una investigación (Stuss, Picton, Cerri, Leech & Stethem, 1992) en la que la tarea utilizada no supone la rotación mental de un objeto, sino una tarea de cierre perceptivo. Aunque se trata de un tipo de tarea distinta a las ya comentadas en este epígrafe, la incluimos por dos razones. Primera: una tarea de cierre perceptivo comparte con una tarea de rotación mental el hecho de que ambas requieren que el sujeto ponga en juego su imaginación. Queremos decir con esto que mientras que la rotación mental implica que el sujeto rote mentalmente la figura, la tarea de cierre perceptivo obliga al sujeto a imaginar el todo a partir de una parte de una imagen. Segunda: se ha encontrado una onda N400 cuya amplitud varía dependiendo del grado de cierre perceptivo. En efecto, Stuss et al., presentando figuras sencillas con cuatro niveles distintos de cierre, descubren una onda N400 que presenta máxima amplitud cuanto más incompleto está el dibujo. Además, dicha amplitud es sensible al grado de cierre; es decir, el voltaje se reduce gradualmente a medida que el dibujo se va completando. Según lo dicho, estos autores plantean la posibilidad de que esta onda sea un análogo no semántico del componente N400. Sin embargo, obtienen diferencias en topografía: máxima amplitud fronto-central para esta nueva onda negativa y centro-parietal para la onda N400-semántica. En consecuencia, Stuss et al. arguyen a partir de estos resultados que *es difícil determinar si su onda N400 y la onda N400-semántica representan fenómenos completamente diferentes o si, por el contrario, representan el mismo proceso llevado a cabo en regiones diferentes del cerebro* (Stuss et al., 1992, p. 262). A pesar de las diferencias topográficas, en nuestra opinión, son evidentes las similitudes que presentan ambas ondas en cuanto al tipo de manipulación experimental que las provoca. Basta recordar los trabajos que hemos comentado en un epígrafe anterior sobre probabilidad de cierre en sentencias: si allí se encontró que la amplitud del componente N400-semántico variaba en función del grado de adecuación de una palabra respecto al contexto de la sentencia, aquí aparece una negatividad cuya amplitud se ve modulada en función del grado de cierre perceptivo. En cualquier caso, creemos necesaria tanto la reproducción de estos resultados en experimentos réplica como la realización de otros experimentos similares para determinar si la onda negativa de Stuss et al. es en realidad el mismo componente que el N400-semántico.

3.2.2.3. CARAS

Vamos a repasar ahora un grupo de investigaciones en las cuales se han obtenido ondas negativas similares al componente N400-semántico cuando se presentan incongruencias ante la presentación de caras. Veremos cómo esta línea de trabajo tiene una tradición muy larga, y principalmente ha sido abordada por dos grupos de científicos: el grupo formado por Barret y Rugg (cuyo interés por el procesamiento de rimas ya se ha comentado anteriormente) y el grupo del Centro de Neurociencias de Cuba. A continuación comentaremos con más detalle sus principales aportaciones.

Por lo que se refiere al primer grupo destacamos dos de sus investigaciones. En la primera, Barret, Rugg y Perret (1988) presentaron pares de caras a un grupo de sujetos, quienes debían indicar si el segundo miembro del par era igual o diferente al primero. Se trataba de una comparación meramente física. Cuando las caras eran diferentes obtuvieron una mayor negatividad en el rango de los 400 ms que cuando éstas eran iguales. Además, esta negatividad fue mayor si las caras eran familiares. Un año más tarde, Barret y Rugg (1989) publicaron otra investigación en la cual siguieron un procedimiento similar al de la anterior, pero donde el material utilizado y la tarea fueron distintos. En esta ocasión, las dos caras presentadas eran diferentes y pertenecían a personas famosas. La tarea del sujeto consistía en contrastar las profesiones de estas personas e indicar si ejercían o no la misma profesión. Así pues, ahora el contraste no era meramente físico, como en el caso anterior, sino que implicaba un conocimiento previo del sujeto sobre esos personajes. En cuanto a los resultados, de nuevo, se manifestó una mayor negatividad ante la presentación de una incongruencia. Dicho de otro modo: la ausencia de relación entre los dos famosos presentados, provocaba una onda N400, onda que según Barret y Rugg es muy similar al componente N400-semántico. En concreto, éstas son sus palabras:

The match/non-match differences are considered to reflect the modulation of an "N400" component similar to that evoked by words, and thus suggest that such components can be modulated by associative priming between non-linguistic stimuli (Barret & Rugg, 1989, p. 913).

A nuestro juicio, esta investigación presenta un problema importante: las caras de personas famosas evocan contenidos semánticos que podrían justificar la presencia del componente N400. En efecto, este argumento pone de manifiesto que la onda obtenida por Barret y Rugg no sólo no cuestiona la especificidad semántica del componente N400 sino que, incluso, la confirma. A partir de este comentario, se podrá objetar que deberíamos haber incluido este trabajo en el epígrafe correspondiente a las negatividades evocadas por incongruencias semánticas con material no verbal —puesto que los estímulos presentados evocan contenidos semánticos— y no en el epígrafe actual. No obstante, hemos decidido incluirla aquí como introducción a otro grupo de investigaciones, desarrolladas en parte a raíz de ésta, en las cuales se quiere probar que la onda N400 aparece en el procesamiento de caras aun cuando no haya discrepancia semántica. Nos referimos, concretamente, a la línea de indagación desarrollada por el grupo del Centro de Neurociencias de Cuba. Esta línea de trabajos, ahora sí, encaja perfectamente con el contenido del actual apartado: procesamiento no-semántico de material no verbal.

El grupo del Centro de Neurociencias de Cuba ha desarrollado varias investigaciones con procesamiento de caras, las cuales persiguen este objetivo: determinar si la negatividad que tradicionalmente se ha asociado a las incongruencias con caras es un análogo no semántico del componente N400-clásico. La evolución de estas indagaciones ha sido la siguiente. En sus primeros trabajos, Bobes, Valdés-Sosa y Olivares (1994) utilizaron caras de personas famosas: presentaron a un grupo de sujetos, primero, la cara incompleta (esto es, sin ojos y sin cejas), y, luego, la cara completa (en donde los rasgos añadidos podían o no corresponder a la cara anteriormente presentada). Los resultados muestran la aparición de un componente negativo (N374) ante las incongruencias. En principio podría decirse que este componente es un análogo no semántico del componente N400, no obstante, existe un problema que dificulta esta conclusión. A saber: una cara conocida puede asociarse a un contenido semántico (por ejemplo, su nombre) y, por tanto, la onda N374 podría ser un simple N400-clásico que se manifiesta ante imágenes. Convenía, pues, realizar un nuevo experimento en el que el material utilizado no presentara contenido semántico. Y así se hizo. Olivares, Bobes, Aubert y Valdés-Sosa (1994) llevaron a cabo otro experimento similar al anterior, pero usando caras artificiales fabricadas en el laboratorio. Así, se aseguraban de que los

estímulos empleados no tuvieran asociado ningún contenido semántico para los sujetos. Los resultados mostraron, de nuevo, que la onda N374 se manifestaba ante las caras que presentaban un rasgo facial que no les correspondía, es decir, ante las incongruencias entre el rasgo preparado por el sujeto y aquél que, en efecto, se presentaba. A pesar de estos resultados, este grupo de autores sigue sin dejar claro si esta onda N374 es, en realidad, el componente N400-semántico, y la razón que esgrimen, otra vez, es la topografía que presentan ambos componentes: centro-parietal para la onda N400 y occipital para la N374.

Recientemente se han llevado a cabo varios trabajos interesados en localizar las fuentes neuronales del componente N374 asociado al procesamiento de caras (Olivares, Iglesias & Bobes, 1998; Jemel, George, Olivares, Fiori & Renault, 1999; Bobes, Martín, Olivares & Valdés-Sosa, 2000), con el objeto de determinar si los generadores neuronales de las ondas N400 y N374 son o no los mismos. Resumiendo mucho los resultados, y para no extendernos innecesariamente en el tema, es suficiente retener que como conclusión final se afirma que ambas ondas son distintas. El argumento que esgrimen es el de la topografía: occipital y máxima en el hemisferio izquierdo para la onda N374. En definitiva, rematan su exposición reiterando que el componente N374 es específico del procesamiento de caras y *refleja procesos relacionados con la codificación y decodificación de caras familiares* (Olivares et al, 1998, p. 354).

3.2.2.4. NÚMEROS

Dejando a un lado las investigaciones interesadas en el procesamiento de caras, vamos a referirnos ahora a un grupo de experimentos en los que los estímulos que se utilizan son números. Nos centraremos principalmente en una serie de artículos de reciente aparición donde se ponen en juego incongruencias aritméticas, y en los que se ha puesto de manifiesto la existencia de un componente N400-aritmético comparable al N400-semántico (Niedeggen & Rösler, 1996; Niedeggen & Rösler, 1999; Niedeggen, Rösler & Jost, 1999). En efecto, utilizando operaciones aritméticas sencillas (multiplicaciones del tipo 5×8), se ha obtenido una onda negativa cuando se presentan a los sujetos resultados incongruentes. Pero es más, el componente N400-aritmético no sólo comparte con la onda negativa semántica el ser provocado por incongruencias, sino que, además, coincide con ella en otros

aspectos. Primero: ambos componentes —N400 semántico y N400 aritmético— no muestran diferencias en su topografía; es decir, los dos presentan máximas diferencias en regiones centro-parietales. Segundo: uno y otro, son sensibles al mismo tipo de manipulación experimental. Respecto de ésta, si la amplitud del componente N400 semántico se veía modulada por el grado de activación de una palabra en la memoria (recuérdense los trabajos comentados sobre la probabilidad de cierre de la sentencia, entre otros), se observa el mismo comportamiento en el N400-aritmético. Dicho de otro modo: ambos componentes son sensibles a la restricción contextual⁷. Las similitudes entre los N400s semántico y aritmético llevaron a los autores a concluir lo siguiente:

In summary, the classic "semantic" and the "arithmetic" N400 effect share many features. The topography is nearly the same and a variation of contextual constraint violations bears a similar effect on its amplitude. Therefore, for the time being we are inclined to assume that both phenomena must be caused by a similar mechanism (Niedeggen, Rösler & Jost, 1999, p. 322).

En contraste con los resultados obtenidos por Niedeggen et al., hemos encontrado que Wang, Kong, Tang, Zhuang y Li (2000) al presentar incongruencias como resultado de varios tipos de operaciones aritméticas, no encuentran una negatividad tipo-N400, sino que, en su lugar, se manifiesta una onda que denominan N270. En este caso, el tipo de material utilizado fue similar al que presentaron Niedeggen et al., con la única diferencia de que, además de presentar multiplicaciones, utilizaron sumas, restas y divisiones. En su caso, la negatividad asociada a la incongruencia no sólo difería respecto del N400-aritmético en latencia, sino que presenta, también, una topografía distinta: máximas diferencias en las regiones central y occipital.

⁷ La manipulación que se ejerció para provocar esta restricción contextual en las operaciones aritméticas consistió en lo siguiente: se presentaba como resultado incorrecto un número relacionado o no en la tabla de multiplicar con alguno de los operandos. Por ejemplo, una incongruencia relacionada sería $5 \times 8 = 32$, mientras que una incongruencia no relacionada sería $5 \times 8 = 34$. Este tipo de manipulación es muy similar a la que se utiliza en los experimentos de probabilidad *cloze*.

No queremos finalizar este apartado sin comentar brevemente otra investigación en la que los estímulos utilizados también eran números y cuyo objetivo era comprobar la especificidad semántica de la onda N400. Hablamos del trabajo pionero de Polich (1985). Un grupo de sujetos se enfrentó a cuatro tipos diferentes de estímulos: 1º, sentencias; 2º, series de palabras semánticamente relacionadas; 3º, series de números; 4º, series de letras. En todos los casos, la palabra final de la sentencia o el último ítem de la serie podía ser congruente o incongruente. Los resultados muestran un componente negativo aproximadamente a los 400 ms siempre que se presentaba un estímulo incongruente, con independencia del tipo de estímulo. Además, este componente era máximo en la localización central y frontal. A este respecto, consideramos oportuno mencionar que únicamente se registraron ERPs en Fz, Cz y Pz, hecho que limita considerablemente la interpretación topográfica de esta onda negativa. No obstante, Polich concluye que *el potencial N4 no es una respuesta única a incongruencias semánticas* (Polich, 1985, p. 363).

3.2.2.5. TOPOGRAFÍA Y LATENCIA DE ESTOS N400s

Finalizamos este apartado repasando la topografía y latencia de las ondas negativas asociadas al procesamiento no-semántico de material no-verbal. Sin embargo, no nos vamos a detener mucho en este punto, puesto que ya ha sido comentado cuando hicimos referencia a cada una de las ondas. No obstante, al igual que en otros epígrafes, expondremos un breve resumen.

En general, todas las ondas comentadas presentan una latencia similar a la del componente N400-semántico. Ahora bien, también es cierto que la mayoría de ellas presenta diferencias en cuanto a su topografía. Así, recordemos lo siguiente: 1º, la negatividad asociada a la incongruencia en estímulos musicales presenta máxima amplitud en la región antero-temporal; 2º, la onda provocada por figuras incompletas tiene una topografía fronto-central; 3º, la onda que se manifiesta ante anomalías faciales es occipital y máxima en el hemisferio izquierdo. Únicamente la negatividad asociada a los problemas aritméticos presentó una topografía similar a la onda N400-semántica, no obstante, tampoco hay acuerdo entre las distintas investigaciones.

Para finalizar, creemos oportuno destacar que en ninguno de los trabajos expuestos se afirma explícitamente que esas ondas negativas sean el componente N400-semántico. En este sentido, unos y otros presentan diferencias. En efecto: por una parte, el grupo que trabaja con estímulos musicales y el grupo de trabaja con caras afirman que su N400 no es el N400-semántico, sino un componente específico del procesamiento de música y del procesamiento de caras respectivamente; por otra parte, tanto el grupo que presenta la onda N400-aritmética como aquél que trabaja el cierre perceptual, revelan sus dudas respecto a si las N400s que ellos encuentran y el componente N400-semántico son o no causadas por el mismo mecanismo.

3.3. PROPUESTA INTEGRADORA DE PRITCHARD, SHAPPELL Y BRANDT

Dedicamos un epígrafe a comentar el trabajo de Pritchard, Shappell y Brandt (1991), porque creemos que esta introducción al componente N400 no estaría completa si no incluyéramos la reflexión aportada por estos autores. El título de su disertación *Psychophysiology of N200/N400: a review and classification scheme* ya nos da pistas acerca de la problemática que desean abordar, la cual, a su vez, está directamente relacionada con la que ahora nos ocupa. En efecto, su planteamiento inicial es éste: el componente N400 quizá no sea más que el componente N200 demorado. Por tanto, de nuevo, se cuestiona la especificidad de este primer componente. El razonamiento que lleva a Pritchard et al. a esta afirmación ya había sido expuesto anteriormente por Ritter et al. (1984) y Herning, Speer y Jones (1987). En concreto, su tesis se sostiene en el siguiente argumento: las ondas N200 y N400 se manifiestan siempre que no se satisfacen las expectativas del sujeto, sean éstas puramente físicas —para el componente N200—, sean éstas semánticas —para el componente N400—. Dado que la principal diferencia entre ambos componentes radica en su latencia, pudiera ser que el componente N400 se demorara en el tiempo debido a la dificultad añadida que implica el procesamiento semántico del estímulo en comparación con el procesamiento meramente físico del mismo. Es esta pregunta, justamente, la que recogen Pritchard et al. en su trabajo y a la cual intentan dar respuesta.

La solución del dilema pasa necesariamente por aclarar qué es lo que entendemos por componente, o, lo que es lo mismo, dar una definición unívoca del término. A este respecto, la mayoría de los psicofisiólogos cognitivos coinciden en afirmar que un componente es *una porción finita de ERP total que varía sistemáticamente en función de las condiciones experimentales, junto con algunas diferencias psicológicas individuales tales como personalidad o psicopatología* (Donchin, Ritter & McCallum, 1978; Fabiani, Gratton, Karis, & Donchin, 1987; Kramer, 1985; Pritchard, 1981). Algunos autores añaden a lo anterior que la topografía del componente también ha de ser un criterio definitorio del mismo (Fabiani et al., 1987). Otros, sin embargo, permitirían ciertas variaciones en la topografía del componente, siempre y cuando éstas aparecieran sistemáticamente asociadas a variaciones en la tarea del sujeto (Johnson, 1988; Sutton & Ruchkin, 1984). Finalmente, una cuestión que también aflora cuando se trata el tema de la definición de *componente* es la de si éste debe presentar una latencia estable. Es decir: ¿puede un componente manifestar cambios en latencia que excedan de 200 ms y seguir siendo considerado un fenómeno unitario? Esta es, justamente, la pregunta que origina el trabajo de Pritchard et al., y que no tiene una respuesta clara. Por una parte, encontramos un componente como el P300, cuya latencia oscila desde los 300 ms hasta los 700 ms o más (puede encontrarse una extensa revisión de la familia de los P300, por ejemplo, en Honrubia, 1989); por otra, nos encontramos con las ondas N200 y N400 que se suelen considerar componentes distintos.

Con relación a este último tema —la cuestión de si las ondas N400 y N200 son o no el mismo componente—, Pritchard et al. afirman lo siguiente: si bien, por una parte, si nos remitimos a las definiciones del párrafo anterior, una y otra son componentes distintos⁸, por otra parte, a un nivel superior, puede justificarse que se trata del mismo *supracomponente*. Para Pritchard et al. el concepto de *supracomponente* es un análogo del *componente genérico* de Ritter, Simon y Vaughan (1983). Así, a este nivel, plantean la existencia de un continuo que recorre

⁸ Generalmente, los argumentos para diferenciar N200 y N400 son éstos. Uno, su topografía: frontocentral para el componente N200 y centroparietal para el componente N400. Otro, las manipulaciones experimentales que los provocan: desviación física del contexto para el primero y desviación semántica del contexto para el segundo.

la dimensión concreto/abstracto, de manera que las operaciones más simples descansarían en el dominio del componente N200, mientras que operaciones similares que implicaran representaciones más complejas se situarían en el dominio del componente N400. Además del nivel de *supracomponente* y del nivel de *componente*, Pritchard et al. plantean la existencia de un tercer nivel, inferior a éste último, que denominan *subcomponente*. De este modo, siguiendo en parte la taxonomía propuesta por Näätänen y Picton (1986) para los N200s, esbozan una clasificación para los subcomponentes incluidos en el N400. En efecto, en su artículo sugieren la existencia de tres subcomponentes que denominan N4a, N4b y N4c. Aunque sus características fundamentales no aparecen completamente definidas, presentamos a continuación los principales rasgos definitorios apuntados por sus autores:

N4a: también denominado N400 automático. Presenta estas características: a) hasta el momento este subcomponente se ha observado en la presentación visual pero no en la auditiva; b) su distribución es fronto-central y máxima en el hemisferio izquierdo; c) los estímulos que lo provocan pueden ser irrelevantes para la tarea pero han de ser conscientemente percibidos y procesados a nivel abstracto; d) se manifiesta cuando se presenta una desviación a nivel abstracto del contexto precedente o una desviación respecto de un material abstracto aprendido.

N4b: se conoce como N400 atencional. Esta categoría comprende las ondas N400-semánticas clásicas. Sus características son las que siguen: a) es independiente de su modalidad de presentación; b) su distribución es centro-parietal, central o de igual amplitud ($Fz=Cz=Pz$); c) aparece algo lateralizado a la derecha o es lateralmente simétrico; d) requiere la percepción consciente del estímulo que lo evoca; e) se manifiesta cuando se presenta una desviación a nivel abstracto del contexto precedente.

N4c: se denomina N400 de clasificación. Sus características están menos definidas que en los casos anteriores, sin embargo, podemos destacar éstas: a) requiere la percepción consciente del estímulo que lo provoca; b) se manifiesta cuando se presenta una tarea de clasificación abstracta (por ejemplo: lectura/nombrar; rotación mental).

En suma, la aportación de Pritchard et al. consiste en presentar varios niveles de concreción para definir las distintas ondas de los ERPs —supracomponente, componente y subcomponente—, y a partir de aquí dar una explicación a la pregunta de si los componentes N200 y N400 son o no el mismo, para decirnos, en definitiva, que ambos son componentes distintos aunque los dos se engloben en un mismo supracomponente. A nuestro juicio, la propuesta de estos autores no soluciona el problema puesto que en ningún momento nos dan una definición precisa de los nuevos términos que incluyen en su clasificación. Queremos decir con esto que echamos en falta en su texto una explicación formal de qué es lo que entienden o cuales son las características definitorias que nos permiten distinguir entre supracomponente, componente y subcomponente. De hecho, desde que estos autores propusieron su clasificación en el año 1991, no hemos encontrado ninguna referencia a la misma en ninguno de los artículos con los que hemos trabajado. Consideramos que esto es indicativo de que la propuesta no ha sido muy aceptada por la comunidad científica. No obstante, sí nos parece útil el hecho de que Pritchard et al. publiquen la polémica acerca de si las ondas N200 y N400 son o no el mismo componente y despierten, de nuevo, la necesidad de aclarar esta cuestión.

3.4. SIMILITUDES Y DIFERENCIAS ENTRE LAS DISTINTAS N400S

En las páginas anteriores hemos mostrado las distintas ondas N400s: éstas son muchas, divergentes e incluso contradictorias. Por tal motivo nos parece útil finalizar este capítulo intentando sintetizar la información aportada por todas estas investigaciones. Lo hemos realizado de dos maneras. Primera: elaborando las Tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, donde presentamos los principales aspectos metodológicos y los resultados más relevantes de algunas de las investigaciones a que nos hemos referido en los otros capítulos. Segunda: ofreciendo un resumen —que viene a continuación—, en el que pretendemos destacar, de entre todo lo que hemos comentado, aquellos aspectos más relevantes, incidiendo, principalmente, en las similitudes y las diferencias que hay entre las distintas ondas que han sido

expuestas. A partir de aquí, creemos que el camino estará listo para presentar el problema concreto y el objetivo de nuestra tesis.

Como anunciábamos en el párrafo anterior, una buena forma de comenzar es establecer qué es lo que tienen en común todas estas ondas y qué es lo que las hace diferentes. En cuanto a los elementos comunes, caben resaltar principalmente dos. Uno es evidente: todas ellas son ondas negativas que presentan máxima amplitud en el rango de los 400 milisegundos. El otro: son negatividades que se manifiestan cuando el sujeto se encuentra con algún tipo de incongruencia; dicho de otro modo: estas ondas negativas aparecen siempre que hay una discrepancia entre la información que posee el sujeto —sea ésta preparación de una palabra en una sentencia, el resultado de una operación aritmética, unos determinados rasgos faciales, etc.— y la que, en efecto, se le presenta. Además, estas ondas N400 aparecen tanto si el estímulo es lingüístico como si no lo es, y tanto si la incongruencia es semántica como si es de otro tipo. Los aspectos que acabamos de comentar podrían llevarnos a pensar que todas estas ondas negativas son, en definitiva, el mismo componente. Sin embargo, tal como advertíamos al principio, todas ellas, además de compartir similitudes, también mantienen entre sí algunas diferencias. Para adentrarnos en estos aspectos diferenciales, hay que volver la vista a aquel momento en que comentábamos la topografía y latencia de las distintas ondas. Recordemos que tras la exposición de las investigaciones incluidas en cada uno de los grandes grupos de negatividades en el rango de los 400 ms, siempre presentábamos un pequeño comentario acerca de la topografía y latencia de estas ondas. Es precisamente la topografía, el criterio que suele esgrimirse para defender la especificidad semántica del componente N400. En efecto, los defensores del N400-semántico argumentan que este componente es centro-parietal y asimétrico; o sea, que su efecto es máximo en el hemisferio derecho. En contraste con estos autores, existen muchos otros que, como hemos visto, obtienen ondas negativas similares al componente N400 ante tareas que no implican el procesamiento semántico del estímulo. Tal es la polémica. No obstante, también se ha comentado que las diferencias encontradas en topografía entre los N400s semánticos y los no semánticos parecen ser una buena justificación para no cuestionar —o, al menos, no oponerse con total firmeza— a la especificidad semántica de los primeros. Con escasas excepciones, este último es el parecer de la mayoría de los investigadores que han encontrado N400s no semánticos.

Éste es el estado de la cuestión. Ahora, pasaremos a ver cuáles son, a nuestro juicio, las objeciones que pueden oponerse al argumento presentado a favor de un componente N400 semántico.

En primer lugar, si bien en la mayoría de las investigaciones en las que se trabaja con incongruencias semánticas aparece una onda N400 con máximo centro-parietal, también es cierto que otras muy similares han obtenido ondas N400s sin una clara topografía e, incluso, con máximo central o frontal. Por citar un ejemplo, se ha visto que utilizando sentencias que terminan de forma congruente o incongruente, al disminuir el SOA entre palabras se obtiene una onda N400 frontal (Boddy, 1986; Kutas & Van Petten, 1994). Por otra parte, también cabe mencionar que varios estudios que han trabajado con el mismo tipo de materiales, pero con presentación auditiva, también encuentran un componente N400 máximo en regiones frontales y en el hemisferio izquierdo (Bentin, Kutas & Hillyard, 1993; Connolly & Phillips, 1994; entre otros).

En segundo lugar, hemos detectado un inconveniente importante que impide que en ocasiones el argumento de la topografía pueda ser contrastado. Este problema se debe a que en muchas investigaciones, donde se han obtenido ondas negativas similares al componente N400, no se utilizan las mismas localizaciones. Este hecho hace difícil una comparación topográfica entre ellas. El caso más extremo lo encontramos en trabajos como los de Fischler et al. (1983, 1984, 1985) con verificación de sentencias, en los cuales ni siquiera se ha registrado la actividad eléctrica en las regiones parietales. ¿Cómo se podrían comparar, entonces, las ondas negativas reportadas en estos experimentos con el componente N400-centroparietal?

La tercera objeción la situamos en el análisis de datos. En efecto, ocurre que en algunas investigaciones, para analizar el factor localización con el ANOVA, los datos se someten a una transformación siguiendo la propuesta de McCarthy y Wood (1985). Sin embargo, existen otras investigaciones en las cuales se analizan los datos brutos. En este sentido, recordemos que tanto McCarthy y Wood como Ruchkin, Jonhson & Friedman (1999) destacan la importancia de escalar los datos a fin de estudiar la interacción *condición x localización*, siempre que interese analizar

la distribución topográfica. El valor del *p-value* —o nivel de significación— de esta interacción es, justamente, el argumento clave que suele utilizarse para determinar si hay o no diferencias topográficas entre las distintas ondas. De ahí, lo inadecuado que resulta comparar investigaciones en las que se escalan los datos con aquellas en que no se escalan; especialmente, cuando el resultado obtenido en la interacción *condición x localización* sea relevante.

Todas estas cuestiones nos llevaron a pensar en la necesidad de realizar experimentos en los cuales fuera más factible la comparación entre las distintas ondas negativas, y, así, intentar esclarecer las similitudes y diferencias entre ellas.

Tabla 3.1. Tabla resumen con los aspectos metodológicos y los resultados más relevantes de algunas de las investigaciones presentadas en el epígrafe *Procesamiento semántico de material verbal*.

Tipo de estímulo ¹	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400 ²	Ventanas analizadas ³
Sentencias:								
Palabras semánticamente incongruentes con el contexto de una sentencia.	Kutas y Hillyard (1980a)	N400	Centro-parietal	Fz, Cz y Pz	No se especifica	NO	No se especifica	Medidas de área entre 300-600 ms.
Modalidad visual								
Palabras semánticamente incongruentes al final de una sentencia.	Connolly y Phillips (1994)	N400	Fronto-central	Fz, Cz, Pz, T3 y T4	Fz=423.3 Cz=421 Pz=418.2 T3=423.3 T4=422.8	NO	Fz=3.23; Cz=3.24 Pz=2.9; T3=2.54 T4=3.21	150-350 350-600
Modalidad auditiva								
Palabras que completan la sentencia con distintos grados de incongruencia (<i>cloze probability</i>).	Kutas et al (1984)	N400 cuya amplitud decrece a medida que se incrementa la probabilidad de cierre	Parieto-occipital	Fz, Cz, Pz, Oz, y dos laterales anterior-temporales y posterior-temporales	No se especifica	NO	Para incongruencias: Fz=0.8; Cz=1.2; Pz=1.5; Oz=1; LAT=-0.3 RAT=0.2, LPT=1.2;RPT=1.4 Para baja probabilidad de cierre: Fz=3.2; Cz=4.7; Pz=5.2; Oz=3.7;AT=1 RAT=1.1; LPT=3.9;RPT=4	300-500
Modalidad visual								
Palabras incongruentes no relacionadas semánticamente con la mejor terminación de la sentencia.	Kutas et al (1984)	N400 para todos los finales incongruentes. Mayor amplitud para la palabra no relacionada con la mejor terminación.	Centro-parietal-occipital	Fz, Cz, Pz, Oz, y dos laterales anterior-temporales y posterior-temporales	No se especifica	NO	No se especifica	300-500
Modalidad visual								

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Palabras incongruentes o pertenecientes o no a la misma categoría semántica que la mejor terminación. Modalidad visual.	Federmeier y Kutas (1999)	N400 para las incongruencias. Máxima amplitud si la palabra no pertenece a la categoría de la mejor terminación.	Posterior-central y máximo en el hemisferio derecho	26 localizaciones: MIPf, LMPf, RMPf, LLPf, RLPf, LMFf, RMFf, LDFf, LDFf, LLFf, RLf, MiCe, LMCE, RMCE, LDCe, RDCe, MiPa, LDPa, RDPa, LLTe, RLTe, MiOe, LMOe, RMOe, LLOe, RLOe ⁴	Misma categoría semántica. Media=377 Distinta categoría. Media=375	SI	No se especifica	350-400
Incongruencia entre el sujeto y el objeto directo de una sentencia en sentencias verdaderas y falsas. Modalidad visual.	Fischler et al. (1983)	N400 ante incongruencias entre el sujeto y el objeto de la oración, independientemente de la veracidad o falsedad de la sentencia	No hay diferencias entre las distintas localizaciones	F3, F4, C3, C4 y Cz	No se especifica	NO	Sentencias afirmativas: Cz=3.82, C3=2.87 C4=2.95, F3=2.30 F4=2.83 Sentencias negativas: Cz=-3.8, C3=-2.18 C4=-2.8, F3=-1.95 F4=-2.59	320-480
Palabras incongruentes en sentencias con distinta restricción contextual	Kutas y Hillyard (1984)	N400 ante las incongruencias independientemente del grado de la restricción contextual.	No se especifica	Fz, Cz, Pz, Oz, RAT, LAT, RPT Y LPT ⁵	No se especifica	NO	No se especifica	300-500
Incongruencia entre el sujeto y el objeto directo de una sentencia. Modalidad visual.	Kounios y Holcomb (1992)	N400	Centro-parietal y máximo en el hemisferio derecho	O1, O2, F7, F8, Fz, Cz, Pz, WL, WR, LT, RT, LAT y RAT ⁶	Localizaciones laterales: Media=404 Localizaciones centrales: Media=393	NO	O1=1.8, WL=2.9 LT=2.2, LAT=1.5 F7=1.6, O2=1.2 WR=3.3, RT=2.9 RAT=2.4, F8=2.6 Fz=3.4, Cz=3.8 Pz=3.4	300-500 500-800 800-1100

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Palabras de tipo abierto en distintas posiciones dentro de una sentencia. Modalidad visual	Van Petten y Kutas (1990)	N400 de mayor amplitud para palabras que ocupan las primeras posiciones. Además se observa una mayor negatividad si la palabra es de baja frecuencia de uso	No se especifica	Fz, Cz, Pz, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T5, T6, O1, O2	No se especifica	NO	No se especifica	350-500
Palabras que finalizan una sentencia de forma semánticamente incongruente o no. Las palabras pueden ser concretas o abstractas. Modalidad visual	Holcomb et al. (1999)	N400 ante las incongruencias. Mayor negatividad si la palabra incongruente es concreta que si ésta es abstracta.	N400 centroparietal y máximo en el hemisferio derecho. Las diferencias entre palabras concretas y abstractas son máximas en localizaciones anteriores.	O1, O2, F7, F7, Fz, Cz, Pz, W1, WR, TR, TL, ATR, ATL	No se especifica	SI	No se especifica	150-300 300-500 500-800
Palabras que completan la sentencia con distintos grados de incongruencia (<i>cloze probability</i>). Las palabras pueden ser concretas o abstractas. Modalidad visual	Holcomb et al. (1999)	N400 ante las incongruencias. Mayor negatividad para las palabras concretas que para las abstractas en la condición de incongruencia media y baja (No en la condición de congruencia).	N400 centroparietal y máximo en el hemisferio derecho. Máximas diferencias entre palabras concretas y abstractas en localizaciones anteriores.	O1, O2, F7, F7, Fz, Cz, Pz, W1, WR, TR, TL, ATR, ATL	No se especifica	SI	No se especifica	150-300 300-500 500-800

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Palabras aisladas:								
Pares de palabras semánticamente relacionadas o no. Modalidad auditiva	Bentin et al. (1993)	N400 de mayor amplitud para palabras no relacionadas con la palabra anteriormente presentada	Fronto-central y sin claras diferencias hemisféricas	Fz, Cz, Pz, P3, P4, T5, T6, BL, BR, WL, WR, 41L y 41R ⁷	Media=473	SI	Fz=1.57; Cz=1.49 Pz=1.11; P3=1.18 P4=1.06; T5=0.47 T6=0.27; BL=0.75; BR=0.4 WL=0.87; WR=0.62, 41L=0.91; 41R=0.57	300-400 400-700 700-900
Pares de palabras, la segunda de las cuales puede ser: una palabra relacionada, una palabra no relacionada o una pseudopalabra. También se manipula el SOA. Modalidad visual.	Boddy (1986)	N2 (340 ms) de mayor amplitud para las palabras no relacionadas	Ampliamente distribuido.	Fz, Cz, Pz, LW y RW	Media=340	NO	No se especifica	No trabaja con la amplitud promedio en ventanas de latencia sino con la distancia base a pico.
Pares de palabras, la segunda de las cuales puede ser: una palabra relacionada, una pseudopalabra o una no-palabra. Modalidad visual y auditiva.	Holcomb y Neville (1990)	N400 de mayor amplitud para las palabras no relacionadas y las pseudopalabras en las dos modalidades (mayor amplitud en pseudopalabras). El efecto del N400 comienza más temprano, tiene mayor duración y amplitud en la modalidad auditiva. No hay evidencia de N400 en no-palabras.	En la modalidad auditiva las mayores diferencias se encuentran en el hemisferio izquierdo, mientras que en la modalidad visual se producen en el hemisferio derecho.	O1, O2, P3, P4, F7, F8, WL, WR, LT y RT	No se especifica	SI	Visual: O1=0.47; O2=0.57 P3=0.81; P4=0.97 F7=0.27; F8=0.34 WL=0.27; WR=1.04 LT=0.13; RT=0.67 Auditivo: O1=1.44; O2=0.89 P3=3.36; P4=3.35 F7=1.39; F8=0.93 WL=3.01; WR=2.49 LT=2.87; RT=2.77	0-150 150-300 300-500 500-750 750-1140

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Venianas analizadas
Pares de palabras, la segunda de las cuales puede ser: una palabra relacionada, una palabra no relacionada o una seudopalabra. En un experimento la 1ª palabra se presenta visualmente y la 2ª auditivamente, en el segundo, viceversa.	Holcomb y Anderson (1993)	N400 ante palabras no relacionadas	Máxima amplitud en localizaciones parietales y de Wernicke	F7, F8, O1, O2, Fz, Cz, Pz, WL, WR, TL, TR, ATL y ATR	No se especifica	NO	No se especifica	300-550 550-800 800-1150

¹ En esta columna incluimos para cada experimento únicamente aquella condición experimental en la que se espera que se manifieste el componente N400. No detallamos todas las condiciones estudiadas con objeto de no incrementar en exceso el volumen de información de las tablas.

² Diferencias recogidas en la ventana correspondiente al N400 resultado de restar el valor de la amplitud —promedio o pico dentro de una ventana— de la congruencia menos la de la incongruencia.

³ Siempre que se han analizado varias venianas, señalamos en negrita aquella que corresponde a la onda N400

⁴ Ml=midline, L=left, R=right, M=medium, D=mediotlateral, L=lateral, Pf=prefrontal, Fr=frontal, Ce=central, Pa=parietal, Te=temporal, Oc=occipital

⁵ L=left, R=right, AT=anterior temporal, PT=posterior temporal

⁶ T=temporal, AT=anterior temporal

⁷ BL=Broca left, BR=Broca right, WL=Wernicke left, WR=Wernicke right; 41L y 41R=aproximadamente sobre el área de Brodmann.

⁸ Datos correspondientes a la ventana 200-700 ms. (palabra no relacionada-palabra relacionada).

Tabla 3.2. Tabla resumen con los aspectos metodológicos y los resultados más relevantes de las investigaciones presentadas en el epígrafe *Procesamiento semántico de material no-verbal*.

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Dibujos de cosas conocidas :								
Sentencias que finalizan con un dibujo incongruente	Nigan et al. (1992)	N400	Centro-parietal	5 localizaciones entre las cuales no están las frontales: Cz, Pz, Oz y dos laterales temporoparietales	No se especifica	NO	No se especifica	60-140 110-190 190-260 230-300 270-420
Sentencias que finalizan con un dibujo incongruente	Ganis et al. (1996)	N400	Frontal	26 localizaciones	397	SI	No se especifica	175-325 325-475 575-800
Pares de dibujos incongruentes	Barret y Rugg (1990)	N450	No presenta una topografía clara	7 localizaciones: Pz, laterales frontales, parietales y temporales	No se especifica	SI	Pz=5,3; LF=2,6 LT=3,6; LP=3,1 RF=3,0; RT=3,9 RP=3,5	250-350 350-550 550-900
Pares de dibujos incongruentes	Holcomb y McPherson (1994)	N400	Frontal y máximo en el hemisferio izquierdo	13 localizaciones: Fz, Cz, Pz, F7, F8, O1, O2, WL, WR, TL, TR, ATL y ATR	No se especifica	NO	No se especifica	200-325 325-550 550-900
Pares de dibujos incongruentes	McPherson y Holcomb (1999)	N400	Centro-parietal	13 localizaciones	No se especifica	SI	No se especifica	225-325 325-500 600-1000
Stroop:								
Incongruencia palabra-color en el contexto de una sentencia	Katayama y Yagi (1992)	N400	Central	Fz, Cz, Pz, Oz	No se especifica	NO	Fz=1,54; Cz=2,01 Pz=1,67; Oz=0,77	300-450
Palabras-color incongruentes	Rebai et al. (1997)	N400	Centro-parietal	Fz, Cz, Oz, parietales derecho e izquierdo	434	NO	No se especifica	250-350 350-450
Palabras-color incongruentes	Liotti et al. (2000)	N410	Frontocentral y central	64 canales	410	SI	No se especifica	Ventanas de 50 ms de 350 a 500 ms; Ventanas de 100 ms de 500 a 800 ms

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Estímulos olfativos:								
Incongruencia entre un aroma y una imagen	Grigor et al. (1999)	N400	Máximas diferencias en Fz, Cz, CPz y Pz	Fz, FT7, FT8, FC3, FC4, Cz, C3, C4, CP3, CP4, CPz, T3, T4, TP7, TP8, Pz, P3 y P4	No se especifica	NO	Fz=-4.09; FT7=-1.78 FT8=-2.2; FC3=-5.32 FC4=-4.71; Cz=-6.32 C3=-4.17; C4=-5.39; CP3=-4.4; CP4=-5.4 CPz=-5.29; T3=-2.17 T4=-4.89; TP7=-3.28 TP8=-5.04; Pz=-4.74; P3=-3.95; P4=-4.28	Analizan el máximo pico en la ventana 300-600
Congruencia, semi-congruencia e incongruencia entre un aroma y un dibujo.	Sarfarazi et al. (1999)	N400 máximo en incongruencia, medio en semi-congruencia y mínimo en congruencia	Frontal y máximo en el hemisferio izquierdo	Fz, Cz, Pz, Oz, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1 y O2	Similar a la del N400 en tareas de decisión léxica.	NO	F3=-3.24; F4=-2.91; Fz=-2.42; C3=-1.19; C4=-1.20; Cz=-1.24;	Pico negativo entre los 350 y los 600 ms.
Incongruencia imagen/malolor	Castle et al. (2000)	N400	No presenta una topografía clara	11 localizaciones: frontales centrales y parietales	No se especifica	NO	Fz=-0.7; Cz=-0.90 Pz=-1.7; F3=-0.74 F4=-0.4; C3=-0.79 C4=-0.9; P3=-1.64 P4=-1.41 TCP1=-1.71 TCP2=-1.27	Analizan el máximo pico en la ventana 300-600

Tabla 3.3. Tabla resumen con los aspectos metodológicos y los resultados más relevantes de las investigaciones presentadas en el epígrafe *Procesamiento no-semántico de material verbal*.

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Verificación de sentencias:								
Sentencias falsas respecto a información familiar	Fischler et al. (1984)	N340	Central	Cz, C3, C4, F3, F4	Media=337 S.E.=24	NO	Cz=2.42	0-160
							C3=2.36	160-320
							C4=3.17	320-480
							F3=1.35 F4=1.64	
Sentencias falsas respecto a información artificial	Fischler et al. (1985)	N320	Ampliamente distribuido con máximas diferencias en el Central	Fz, Cz, Pz, C3, C4	Respuesta: Media=319 S.E.=43 No respuesta: Media=328 SE=46	NO	No se especifica	200-420
Sentencias falsas respecto a una información asumida como verdadera	Fischler et al. (1987)	N380	Ampliamente distribuido	Fz, Cz y Pz	No se especifica	NO	Fz=4.7 Cz=5.2 Pz=5.7	280-440 440-600
Sentencias <i>probablemente</i> falsas respecto a información artificial	Pollina y Squires (1998)	Un componente tipo-N400 aparece tanto si la sentencia es falsa como si es verdadera	Fronto-central	Fz, Cz y Pz	No se especifica	NO	No se especifica	250-350 350-450 450-550

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Rima								
Pares de palabras y no palabras que no riman	Rugg (1984b)	N450	Máximas diferencias en localizaciones medias y en el hemisferio derecho	7 localizaciones: Fz, Cz, Pz, laterales parietales y temporales	No se especifica	NO	Para palabras: Fz=2.9; Cz=3.1; Pz=2.9; LT=0.3; LP=1.7; RT=2.3; RP=3.1 Para no palabras: Fz=1.8; Cz=2.5; Pz=3.2; LT=-0.2; LP=2; RT=1.8; RP=2.9	300-600
Pares de palabras que no riman	Rugg (1985)	N450	Máximas diferencias en todas las localizaciones excepto LP y LT	7 localizaciones: Pz, laterales frontales, parietales y temporales	No se especifica	NO	Pz=3.3; LF=1.0 LT=0.8; LP=2.2 RF=2.0; RT=2.1 RP=2.5	300-600
Pares de palabras que no riman y que no se parecen ortográficamente	Rugg y Barret (1987)	N450	Máximas diferencias en Pz y hemisferio derecho	7 localizaciones: Pz, laterales frontales, parietales y temporales	No se especifica	NO	Pz=1.6; LF=0.5 LT=1.2; LP=-1 RF=2.5; RT=1.5 RP=1.8	320-480 400-560
Pares de palabras y no palabras que no riman en modalidad auditiva. Tarea de decisión léxica	Praamstra et al. (1994)	Negatividad entre los 400 y los 500 ms sólo para las palabras.	Distribución simétrica sin diferencias entre localizaciones anteriores y posteriores.	Fz, Cz, Pz, F7, F8, F3, F4, T3, T4, C3, C4, T5, T6, P3, P4, O1, O2, A1 y A2	No se especifica	SI	No se especifica	0-250 250-450 450-700 700-1000
Pares de palabras que no riman en modalidad auditiva. Tarea de decisión léxica	Radeau et al. (1998)	N400	No se especifica	Fz, Cz, Pz, F7, F8, T5 y T6	No se especifica	NO	No se especifica	0-300 300-800 800-2000
Pares de dibujos con nombres que no riman	Barret y Rugg (1990)	N450	Máximas diferencias en el hemisferio derecho	7 localizaciones: Pz, laterales frontales, parietales y temporales	No se especifica	NO	LF=0.25; LT=-0.1; LP=0.52; RF=1.22; RT=1.39; RP=1.65	300-500 500-900
Pares de palabras que no riman en modalidad auditiva	Pérez et al. (1994)	N450	No se especifica	F3, F4, F7, F8, T5, T6, O1, O2, Cz, Pz	No se especifica un valor concreto	NO	F3=-0.8; F4=-2.2; F7=-0.1; F8=-0.6; T5=-1.4; T6=-1.4; O1=-1.8; O2=-1.6; Cz=-3.2; Pz=-3.3	415-515

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Pares de palabras que no riman en modalidad visual	Pérez et al. (1994)	N450	No se especifica	F3, F4, F7, F8, T5, T6, O1, O2, Cz, Pz	Latencia más corta que para la presentación auditiva y la de dibujos. No se especifica un valor concreto	NO	F3=-2.6, F4=-2.6, F7=-1.3, F8=-1.9, T5=-0.5, T6=-0.8, O1=-1.8, O2=-1.8, Cz=-3.4, Pz=1.2	480-580
Pares dibujos que no riman	Pérez et al. (1994)	N450	No se especifica	F3, F4, F7, F8, T5, T6, O1, O2, Cz, Pz	No se especifica un valor concreto	NO	F3=0.2, F4=-0.3, F7=0.7, F8=-0.3, T5=-0.6, T6=-1.1, O1=-1.2, O2=-1.5, Cz=-1.6, Pz=0.7	570-670
Anomalias sintácticas								
Pares de palabras que no concuerdan gramaticalmente	Munte et al. (1993)	N400	Máxima en regiones frontales y en el hemisferio izquierdo	28 localizaciones: Fp1, Fp2, Fz, Cz, Pz, Oz, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T3, T4, T5, T6, OL, OR, PL, PR, POz, FC5, FC6, Nz	Latencia mayor que para el N400 semántico (50 ms. después)	NO	No se especifica	100-300 200-400 300-500 400-600 500-700
Palabra que no concuerda gramaticalmente al final de una sentencia. Tarea de decisión léxica	Rösler et al. (1993)	N400	Máxima en regiones frontales y en el hemisferio izquierdo	Fz, Cz, Bl, Br, W1 y Wr	No se especifica	SÍ	No se especifica	Ventanas de 100 ms. de duración entre los 300 y los 1500 ms. post-estímulo.

Tabla 3.4. Tabla resumen con los aspectos metodológicos y los resultados más relevantes de las investigaciones presentadas en el epígrafe *Procesamiento no-semántico de material no-verbal*.

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Música								
Melodías que finalizan con una nota incongruente	Besson y Macar (1987)	No aparece el N400 sino una onda positiva tardía	Ampliamente distribuida	Fz, Cz, Pz, W1 y W2	No se especifica	NO	No se especifica	Medidas del área en la ventana 350-650
Melodías que finalizan con una nota incongruente	Paller et al. (1992)	No aparece el N400 sino una onda positiva tardía	Máximo en el frontal	Fz, Cz, Pz, Oz, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1 y O2	No se especifica	NO	No se especifica	200-400 400-550
Melodías que finalizan con una nota incongruente (diatónica o no-diatónica)	Besson y Fatta (1995)	Componente negativo entre 200 y 600 ms ante las incongruencias pero solo para melodías no familiares	Máximo en el hemisferio derecho y en regiones anteriores	Fz, Cz, Pz, dos laterales sobre las regiones anterior-temporal y posterior-temporal	No se especifica	NO	No se especifica	200-600 400-800
Melodías que finalizan con una nota incongruente que puede ser muy cercana a la nota correcta o muy alejada de la correcta	Patel et al. (1998)	N350 en los dos tipos de incongruencia. Denominan a este componente RATN (Right Anterior Temporal Negativity).	Frontal y temporal y máximo en el hemisferio derecho	Fz, Cz, Pz, F7, F8, ATL, ATR, TL, TR, WL, WR, O1 y O2	No se especifica	NO	No se especifica	300-500 500-800 800-1100
Cierre perceptual								
Figuras que presentan distintos grados de completamiento	Stuss et al. (1992)	N400 más amplio para las figuras más incompletas	No se especifica	F3, F4, Cz, Oz, P3 y P4	No se especifica	SI	No se especifica	250-350 350-450 450-550 1200-1500 1600-1800

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Caras								
Pares de caras, la segunda de las cuales no coincide con la primera. Se trabaja con caras familiares y no familiares	Barret et al. (1988)	N400 para las caras familiares	Ampliamente distribuido	Pz y laterales frontales, temporales y parietales	No se especifica	NO	Para caras familiares: LF=2.2; LT=3.0 LP=3.6; RF=2.8 RT=3.1; RP=2.8	130-160 250-350 350-450 450-600
Caras de personas famosas que no ejercen la misma profesión que la persona anteriormente presentada	Barret y Rugg (1989)	N450	Parietal	Pz y laterales frontales, temporales y parietales	No se especifica	NO	Pz=2.0; LF=0.6 LT=1.5; LP=2.2 RF=0.7; RT=1.3 RP=1.9	150-250 250-250 350-450 450-600
Caras familiares que se completan con ojos pertenecientes a otra persona	Bobes et al. (1994)	N374	Occipital y máximo en el hemisferio derecho	F7, F8, Cz, Pz, O1 y O2	En Cz: media=374	NO	No se especifica	100-250 250-450 450-650
Caras artificiales que se completan con ojos y cejas pertenecientes a otra cara	Olivares et al. (1994)	N374	No se especifica	F7, F8, Cz, Pz, O1 y O2	Media=392	NO	No se especifica	340-520 584-874
Caras artificiales que se completan con ojos y cejas pertenecientes a otra cara	Olivares et al. (1998)	N400	Máximo en regiones parieto-occipitales y sin diferencias hemisféricas	Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C3, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T3, T5, T6, Fz, Cz, Pz y Oz	No se especifica	NO	Para la ventana 360-400: Fp1=0.25; Fp2=0.03 F3=0.85; F4=1.3 C3=2.21; C3=2.64 P3=3.35; P4=3.58 O1=3.73; O2=3.65 F7=0.22; F8=0.16 T3=0.68; T3=0.81 T5=2.56; T6=3.02 Fz=1.8; Cz=2.7 Pz=3.3; Oz=3.27	Ventanas de 40 ms. de duración entre 280-520 ms. y 520-760 ms. (se analizan las ondas diferencia)

Tipo de estímulo	Referencia bibliográfica	Onda reportada	Topografía de la onda	Localizaciones utilizadas	Latencia del N400	Datos corregidos según McCarthy y Wood	Diferencias en amplitud del N400	Ventanas analizadas
Caras de personas famosas que se completan con unos ojos pertenecientes a otra cara	Jemel et al. (1999)	N350	Máximo en regiones temporales, parietales y occipitales	Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, Poz, Oz, Iz, T3, T4, T5, T6, P3, P4, CP3, CP4	No se especifica	NO	Diferencias en el pico máximo entre 250-450ms Fz=0.02; FCz=0.12 Cz=0.91; CPz=1.31 Pz=1.89; POz=1.99 Oz=1.75; Iz=1.26 T3=0.75; T4=1.34 T5=2.08; T6=1.91 P3=1.45; P4=1.7 CP3=1.18; CP4=1.57	Ventanas de 40 ms. de duración entre 120-500 ms. Pico máximo en las ventanas 80-150, 150-250, 250-450 y 500-800.
Pares de caras, la segunda de las cuales no coincide con la primera. Se trabaja con caras familiares y no familiares	Bobes et al. (2000)	La onda N400 aparece tanto en caras familiares como en las no-familiares	Máximo centro-parietal	F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, P3, P4, O1, O2, Fz, Cz, Pz y Oz	Familiar: Media=441 S.E.=36.3 No familiar: Media=419 S.E.=30.5	SI	No se especifica	Ventanas de 70 ms. de duración entre 200 y 550 ms.
Números								
Solución incorrecta en una multiplicación	Niedeggen y Rösler (1999)	N400	Centro-parietal	61 localizaciones	No se especifica	SI	No se especifica	360-440 450-620
Solución incorrecta en una multiplicación	Niedeggen et al. (1999)	N400	Centro-parietal	61 localizaciones	No se especifica	SI	No se especifica	270-350 350-430 430-510
Soluciones incorrectas en una multiplicación que pueden estar relacionadas o no con la solución correcta	Niedeggen et al. (1999)	N400 de mayor amplitud para errores no relacionados con la solución correcta	Centro-parietal	61 localizaciones	No se especifica	SI	No se especifica	360-440 y 440-520 para el SOA=200 280-360 y 360-440 para el SOA=500

4. OBJETIVO DE ESTA INVESTIGACIÓN

Tal como apuntábamos al finalizar el epígrafe anterior, la revisión bibliográfica que hemos realizado sobre las ondas negativas tardías vinculadas a distintos tipos de incongruencia puso en evidencia que era tal la diversidad de las mismas, y eran tantas las diferencias en el procedimiento para obtenerlas, que resultaba muy difícil su comparación. En definitiva, nuestro interés radicaba en intentar discernir si todas estas ondas se podrían vincular a un mismo proceso psicológico —básicamente discrepancia entre información presentada e información esperada—, o si, por el contrario, reflejan procesos distintos. Como ya se ha comentado, en aquel momento nos encontramos con varias dificultades que hicieron que resultara imposible esclarecer con la mera lectura de los artículos esta cuestión. Por esto, nos planteamos la posibilidad de realizar una serie de experimentos en los cuales fuera factible la comparación de las ondas registradas.

Para alcanzar nuestro objetivo era necesario tener en cuenta cuatro puntos fundamentales:

1º. Convenía realizar un experimento que nos permitiera obtener el componente N400 clásico (la onda N400-semántica). De esta manera conseguiríamos un modelo de componente con el cual se podrían comparar otras ondas negativas que obtuviéramos en posteriores experimentos.

2º. Enlazando con lo anterior, era preciso plantear otros experimentos para obtener ondas negativas en otros tipos de tareas, con el objetivo de proceder a su posterior comparación con el componente N400-semántico. En este

sentido, nos pareció oportuno seleccionar una tarea de cada una de las tipologías expuestas en nuestra clasificación de ondas negativas tardías. Así, como de esta manera ya tendríamos una onda provocada por el procesamiento semántico de estímulos verbales —el componente N400-clásico—, sólo nos faltarían tres experimentos más que cubrieran cada uno de los otros tres tipos restantes: primero, procesamiento semántico de material no verbal; segundo, procesamiento no semántico de material verbal; y, tercero, procesamiento no semántico de material no verbal. Entre todas las posibilidades, nuestra selección fue la que sigue: una tarea tipo Stroop para el primer grupo; una tarea de verificación de sentencias para el segundo; y la utilización de series de números para el tercero.

3º. Era fundamental que en todos los experimentos las localizaciones utilizadas fueran las mismas, y, además, era preciso que, como mínimo, se registrara la actividad eléctrica en las localizaciones frontales, parietales y centrales. El porqué de esto último es que, como ya se ha comentado, las distintas negatividades reportadas presentan diferencias principalmente en estas localizaciones. Por otra parte, los defensores del componente N400-semántico argumentan que este componente es centro-parietal.

4º. Entendimos que podía ser pertinente la realización de un análisis más detallado de los ERPs. Adoptamos esta posición porque la revisión teórica nos mostró que en general se ha trabajado con ventanas de latencia excesivamente amplias —usualmente, entre 200 y 300 ms de duración (véanse las Tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4)—. Así pues, como nuestro interés se centraba principalmente en las ondas N400 y P600, decidimos analizar con más precisión las ventanas correspondientes a estos componentes. Para el análisis de la onda N400 trabajamos con la amplitud media en ventanas de 50 ms tomadas desde los 250 a los 500 ms post-estímulo; para la onda P600 tomamos ventanas de 100 ms desde los 500 a los 800 ms post-estímulo. De este modo, podríamos detectar de forma más precisa tanto las ventanas en las que se iniciaban y finalizaban las diferencias de potencial, como aquella donde aparecían las máximas diferencias.

El cumplimiento de estas cuatro indicaciones nos permitiría obtener el registro de ERPs en cuatro situaciones diferentes —en donde investigaciones previas habían obtenido ondas tipo N400—. Además, tanto el registro como el análisis de los datos se realizaría en condiciones estándar para todos los experimentos, lo cual facilitaría la comparación posterior entre los distintos patrones de ERPs que encontráramos.

Pero no nos quedamos solamente con esto y quisimos introducir otras aportaciones. En primer lugar, dado que el componente N400-semántico es sensible al grado de adecuación de una palabra respecto del contexto que la precede —esto es: su amplitud decrece a medida que la palabra se adecua al contexto—, nos pareció oportuno manipular la variable grado de adecuación no sólo en el experimento donde se presentaban incongruencias semánticas en material verbal, sino en otros de los que realizamos. De esta manera, se podría comprobar si las distintas negatividades eran sensibles al mismo tipo de manipulación. En segundo lugar, nos interesó, también, estudiar cómo afecta el hecho de emitir o no una respuesta motora sobre el patrón de ERPs. Este es un aspecto relevante puesto que en muchas ocasiones se ha puesto de manifiesto la problemática del posible solapamiento entre los componentes N400 y P300 (véase, por ejemplo, Kutas & Van Petten, 1994). La manipulación de esta variable nos permitiría abordar esta problemática.

5. PRIMER EXPERIMENTO: CATEGORÍAS SEMÁNTICAS

5.1. INTRODUCCIÓN

Se ha comentado en capítulos anteriores la existencia de distintos paradigmas experimentales que permiten obtener el componente N400 semántico clásico —nos referimos a aquel componente provocado por una incongruencia semántica que se presenta en material verbal—. Hemos visto algunos experimentos en los cuales la incongruencia se inserta en el contexto de una sentencia, y otros en donde aparece al presentar pares de palabras aisladas. También hemos expuesto algunos trabajos en los que este componente se ha obtenido en el marco de la categorización semántica. Este paradigma es precisamente el que utilizaremos en nuestra Investigación.

Varios estudios han demostrado que el componente N400 aparece ante la presentación de una palabra que no pertenece a una categoría semántica previamente descrita. En efecto, este componente se ha observado tanto si la categoría viene definida mediante una serie de palabras (Polich, 1985), como cuando ésta se precisa a través de una palabra de orden superior (Fujihara, Nageishi, Koyama & Nakajima, 1998; Heinze, Muentz & Kutas, 1998). Resultados similares se han observado, también, en el contexto de una sentencia. Federmeier y Kutas (1999) y Kutas et al. (1984) presentaron sentencias que finalizaban con una palabra incongruente y encontraron lo siguiente: las palabras que pertenecían a la misma categoría semántica que la palabra que mejor completaba la sentencia,

provocaban N400s de menor amplitud que las palabras incongruentes de distinta categoría. Otras evidencias del efecto de la categorización semántica sobre el N400 se muestran en investigaciones sobre verificación de sentencias. Destacan, por ejemplo, los trabajos en los que se presentan sentencias que ponen en relación una palabra de orden inferior y otra de orden superior (Fischler et al., 1983; Kounios & Holcomb, 1992); en estos casos, el componente N400 se manifiesta siempre que la palabra de orden inferior no pertenece a la categoría definida por la palabra de orden superior. Este efecto es independiente de la veracidad o falsedad de la sentencia.

Si bien las investigaciones anteriores señalan como característica definitoria del componente N400 su aparición ante una discordancia entre una palabra y una categoría semántica, existen otras en las que la naturaleza de este componente se ha precisado aún más. Nos referimos a una serie de trabajos en los que se ha observado una gradación en la amplitud del componente N400 dependiendo del grado de adecuación de una palabra para completar una sentencia. En concreto, se trata de las investigaciones sobre probabilidad de cierre —*cloze*— (Kutas & Hillyard, 1984; Kutas et al., 1984), las cuales han mostrado una relación inversa entre la probabilidad de cierre de una palabra y la amplitud del componente N400: mayor amplitud cuanto más incongruente es la palabra presentada respecto a la sentencia que la precede. En suma, con esta nueva aportación se concreta y se matiza la definición de este componente, que no sólo se manifiesta ante incongruencias semánticas sino que, además, su amplitud varía en función del grado de la misma. Respecto de esta segunda característica queremos resaltar que ésta se ha observado en el contexto de sentencias pero que no se ha confirmado un efecto similar en el campo de la categorización semántica. Es decir, aunque la amplitud del N400 parece indicar el grado de adecuación de una palabra respecto al contexto de una sentencia, no sabemos si un efecto similar aparecerá al manipular el grado de pertenencia de una palabra a una categoría previamente descrita.

En muchas ocasiones, al comentar la naturaleza de esta onda negativa tardía, se ha destacado el problema que puede suponer la imposición a los participantes en este tipo de experimentos de una tarea que implique toma de decisiones respecto al estímulo presentado (Kutas & Van Petten, 1994). Este problema se debe al posible solapamiento que en estas circunstancias podría darse entre los componentes P300

y N400. En efecto, la onda P300 —máxima en regiones centro-parietales y con latencia entre 300 y 900 ms— aparece siempre que se impone al sujeto una tarea que implica una toma de decisión binaria (tareas *go/no go*) o cuando debe presionar uno de dos botones. Además, la amplitud de este componente se incrementa gradualmente cuando decrece la probabilidad de aparición del estímulo. Así pues, en estos casos —tareas con toma de decisiones—, dado que la onda P300 —más concretamente, P3b— aparece aproximadamente en el mismo rango de latencia que la onda N400, podría producirse un solapamiento entre ambos componentes que dificultaría la interpretación de los resultados.

Existen algunas vías alternativas que se suelen utilizar para solventar el problema anterior. Por una parte, hay un grupo que implica el uso de técnicas para el análisis de datos. Por otra, hay otro grupo que se fundamenta en el diseño del experimento (puede encontrarse una breve introducción en Pritchard et al., 1991). Dentro del grupo de técnicas de análisis destacan principalmente dos: primera, la obtención de ondas diferencia, y, segunda, el análisis de componentes principales (véase Solanas, 1990). Las que se basan en el diseño consisten en una serie de recomendaciones procedimentales que nos permiten separar los componentes sujetos al posible solapamiento; entre ellas, la propuesta más utilizada consiste en evitar o postergar la tarea de decisión por parte del sujeto (Bentin, Kutas & Hillyard, 1993; Kutas & Hillyard, 1989, entre otros). A pesar de lo expuesto anteriormente encontramos en la literatura sobre N400 algunos experimentos en los cuales hay una tarea de decisión impuesta al sujeto pero en donde los investigadores no toman ninguna de las medidas de control ante el posible solapamiento entre componentes (Holcomb, Kounios, Anderson & West, 1999, entre otros).

Nuestro estudio persigue un doble objetivo:

1º.- Comprobar si un efecto similar al de la probabilidad de cierre en el contexto de las sentencias aparecerá al presentar series de palabras, es decir, ¿el grado de adecuación de la palabra a la categoría modulará la amplitud del componente N400? Para alcanzar este objetivo, optamos por trabajar con una tarea similar a la propuesta por Polich et al. (1985), en donde la categoría venía definida por una serie de palabras previas a la presentación del estímulo objetivo, y completamos las series con varios tipos de palabras que variaban en función de su grado de

pertenencia a la categoría previamente descrita. Si el componente N400 es un indicador psicofisiológico del grado de incongruencia semántica, esperamos que se presente siempre ante las incongruencias y que su amplitud varíe en función del grado de la misma (esto es: a más incongruencia más amplitud).

2º.- El análisis del posible solapamiento entre N400 y P300. Hemos considerado que una buena manera de abordar este objetivo sería someter a los participantes a dos sesiones: una, en la que deberían tomar una decisión respecto de la última palabra de la serie mediante la presión de uno de dos botones; otra, con el mismo material que la anterior, en donde se les pediría que se limitaran a leer con atención las palabras. En cuanto al componente positivo tardío se espera que aparezca siempre que haya una toma de decisiones, por lo que no habría de aparecer si ésta no se requiere. En consecuencia, en caso de producirse solapamiento de los componentes N400 y P300, el primero debería verse atenuado en aquellas condiciones en que se produzca una toma de decisiones con respecto a aquél producido en una condición que no la requiere.

5.2. MÉTODO

5.2.1. Sujetos

Los participantes en el experimento fueron 16 estudiantes universitarios —4 de ellos varones— de edades comprendidas entre los 20 y los 44 años (mediana = 23; media = 24,8; desviación estándar = 5,9). Todos eran castellano-parlantes y con visión normal o corregida. Uno de ellos era zurdo.

5.2.2. Estímulos

Se prepararon 168 series compuestas por siete palabras. Las seis primeras pertenecían a la misma categoría semántica. La séptima completaba la serie de cuatro posibles maneras: congruencia alta con la categoría, congruencia media, congruencia baja o incongruencia. Las palabras se seleccionaron del material elaborado por Soto, Sebastián, García y del Amo (1982), y de las 45 categorías que

proponen seleccionamos 42 para nuestro experimento¹. En cuanto a la selección de las palabras concretas que formarían parte de nuestras series fue ésta: por una parte, las seis primeras palabras que definían la categoría eran aquéllas que ocupaban las posiciones de 2 a 7 en cuanto a su frecuencia total de aparición, y se presentaron siempre ordenadas de menor a mayor frecuencia²; por otra parte, la palabra final de la serie —ítem objetivo— se definía en función de dos criterios: a) frecuencia total de aparición de la palabra; b) frecuencia parcial, es decir, número de veces que cada palabra se producía en una determinada posición³. Nuestra definición operacional de cada tipo de grado de congruencia fue ésta:

1.- Congruencia alta (a partir de ahora CA): palabras con máxima frecuencia total y de mayor frecuencia parcial en la primera posición para cada categoría. Normalmente ambos criterios coincidían en la misma palabra, no obstante, cuando no fue así, optamos por la palabra de mayor frecuencia parcial en primera posición.

¹ Las categorías utilizadas fueron las siguientes: *accidentes geográficos y formaciones naturales de la tierra; árboles; artículos de mobiliario; aves; edificios; fenómenos atmosféricos; flores; frutas; herramientas; insectos; instrumentos musicales; mamíferos; mariscos; material de lectura; metales; partes de una vivienda; partes del cuerpo humano; peces; piedras preciosas; prendas de vestir; razas de perros; reptiles; tipos de alimentos; tipos de armas; tipos de bebida; tipos de calzado; tipos de deporte; tipos de embarcaciones; tipos de enfermedades; tipos de especias; tipos de juguetes; tipos de materiales de construcción; tipos de moneda; tipos de parientes; tipos de profesiones; tipos de tejidos; tipos de vehículos; tipos de verduras; unidades de longitud; unidades de peso; unidades de tiempo; y, utensilios de cocina*. Decidimos eliminar las categorías *tipos de coche, animales y tipos de plantas*. Las razones son éstas: la primera categoría incluía muchas marcas comerciales por lo que estaba muy influida por la publicidad del momento en que Soto y sus colaboradores realizaron su investigación; las otras —*animales y tipos de plantas*— se eliminaron porque se confundían con otras categorías seleccionadas para nuestro experimento (nos referimos, concretamente, a *aves, insectos, mamíferos, mariscos, peces y reptiles*, por una parte, y a *flores, especias y verduras*, por otra).

² Si entre estas palabras aparecían palabras compuestas, éstas se saltaban y continuábamos con la siguiente.

³ El procedimiento que siguieron Soto et al. fue semejante al seguido por Battig y Montague (1969). Consistía en lo siguiente: señalaban una categoría a un grupo de sujetos y les pedían que escribieran en un cuadernillo todas las palabras que se les ocurrieran como pertenecientes a esa categoría. De esta manera, respecto a cada palabra producida, no sólo era importante registrar su frecuencia total de aparición —esto es: la suma de las veces que aparecía en los cuadernillos—, sino también en qué orden se originaba —es decir, número de veces que se producía en primer lugar, en segundo lugar, etc—. Así, estos autores presentan, para cada categoría, las palabras ordenadas por **frecuencia total**, y, para cada palabra, desglosan su frecuencia total en las **frecuencias parciales** para las posiciones de 1 a 7; además, incorporan un último apartado, que denominan *resto*, en el que incluyen la frecuencia parcial de la palabra en posiciones octava o superior.

2.- Congruencia media (a partir de ahora CM): debían cumplirse dos criterios: a) que el cociente entre la frecuencia total de la palabra seleccionada como CM y la frecuencia total de la palabra que aparecía en séptimo lugar estuviera alrededor de 0,5⁴ (las palabras seleccionadas presentaron en este índice un valor promedio de 0.49, con un máximo de 0.65 y un mínimo de 0.34); b) que presentara su máxima frecuencia parcial a partir de la tercera posición.

3.- Congruencia baja (a partir de ahora CB): debían cumplirse dos condiciones: a) que el cociente entre la frecuencia total de la palabra seleccionada como CB y la frecuencia total de la palabra que aparecía en séptimo lugar estuviera alrededor de 0.2 (las palabras seleccionadas presentaron en este índice un valor promedio de 0.2, con un máximo de 0.3 y un mínimo de 0.13); b) que presentara su máxima frecuencia parcial a partir de la tercera posición.

4.- Incongruencia (a partir de ahora I): se escogieron palabras de alta frecuencia de uso del diccionario de Alameda y Cuetos (1995) con la restricción de que fueran sustantivos, que fueran incongruentes con la categoría y que no se hubieran seleccionado, ni como parte de la serie ni como ítem objetivo, en ninguna de las series utilizadas en el experimento.

⁴ Dado que las frecuencias no eran comparables entre categorías (por ejemplo, la frecuencia total máxima para la categoría *Accidentes geográficos* era 289, mientras que para la categoría *Aves* era 185) decidimos idear un índice que oscilara entre 0 y 1 y que nos permitiera seleccionar las palabras de congruencia media y baja. Las siete primeras palabras no participaron en el cómputo de este índice, ya que se utilizaban para elaborar la serie —palabras localizadas entre el segundo y el séptimo lugar— y como palabra de máxima congruencia —aquella que ocupaba la primera posición—. Así, finalmente, el índice se calculó como sigue: dividimos la frecuencia total de cada palabra entre la frecuencia total de la palabra que aparecía en séptima posición. A continuación detallamos, a modo de ejemplo, el cálculo de este índice para las palabras de la categoría *Accidentes geográficos*:

Palabras	Frecuencia total	Índice
1. montaña	289	PALABRA SELECCIONADA COMO C.A.
2. río	209	PALABRA SELECCIONADA COMO SERIE
3. cabo	174	"
4. golfo	162	"
5. valle	147	"
6. volcán	117	"
7. lago	109	"
8. cordillera	99	$99/109 = 0.91$
9. mar	95	$95/109 = 0.87$



Intentamos que todas las palabras seleccionadas como ítems objetivo tuvieran una longitud similar, sin embargo, en ocasiones, tuvimos que escoger algún polisílabo debido a que no había otra palabra alternativa que se ajustara a los criterios anteriormente descritos.

Para la presentación del material se utilizó el programa STIM 2.0 (NeuroScan Inc., Herndon, Va). Todas las palabras aparecían escritas en mayúsculas con letra de color blanco sobre el fondo negro. Los ojos del sujeto estaban a una distancia de 70 cm del estímulo, formando un ángulo visual vertical de 1.23° y un promedio de 4.9° de ángulo horizontal (puesto que cada palabra tenía distinta longitud).

5.2.3. Procedimiento

Los participantes realizaron dos sesiones en el laboratorio. Cada sesión duró aproximadamente dos horas. El procedimiento siempre fue el mismo, pero las instrucciones dadas en la fase de registro fueron diferentes: en una sesión, se pedía a los sujetos que respondieran apretando un botón del ratón (sesión con respuesta manifiesta); en la otra, no debían responder, simplemente tenían que leer atentamente el material presentado (sesión sin respuesta manifiesta). Ambas sesiones se realizaron en días distintos. Entre sesión y sesión se dejó pasar un lapso de tiempo no inferior a 30 días. Procedimos así para evitar que los participantes recordaran el material presentado en la primera sesión. Además, se contrabalanceó el tipo de sesión a través de los sujetos, de manera que la mitad comenzó por una sesión con respuesta manifiesta, mientras que el resto lo hizo por otra sin respuesta manifiesta. La asignación de un orden u otro fue aleatoria.

Durante el experimento los sujetos permanecían sentados en un sillón delante de la pantalla de un ordenador. Cada sesión empezaba con la colocación de los electrodos, a continuación seguía una fase de entrenamiento y finalizaba con una fase de registro.

En la fase de entrenamiento se presentó a cada sujeto una serie de ensayos que consistían en lo siguiente: un total de siete palabras aparecían secuencialmente en la pantalla del ordenador, las seis primeras pertenecían a una misma categoría semántica, la séptima completaba la serie con distintos grados de congruencia. Tras

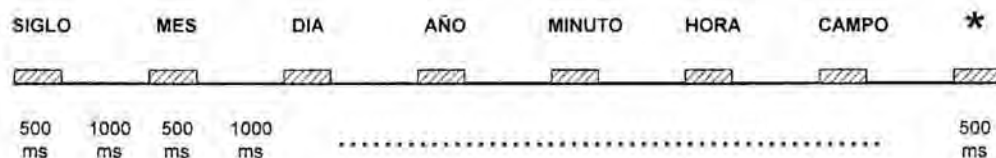


Figura 5.1. Esquema de un ensayo.

la séptima palabra aparecía un asterisco que ofrecía dos tipos de información: por una parte, anunciaba que la serie había terminado; por otra, advertía al sujeto que debía emitir su respuesta respecto a la congruencia o no de la última palabra presentada (en la Figura 5.1 mostramos el esquema de un ensayo). Se instruyó a los sujetos para que emitieran sus respuestas tras la aparición del asterisco y no antes, ya que las respuestas anticipadas se considerarían errores. Para responder utilizaban los botones del ratón: uno para la incongruencia, otro para la congruencia. A fin de evitar el posible efecto del uso habitual de ordenadores, se contrabalanceó el dedo de respuesta intra-sujeto entre sesiones; además, se contrabalanceó el botón de respuesta entre-sujetos dentro de la misma sesión. La fase de entrenamiento se planteó de tal manera que no se pasaba a la fase de registro hasta que el sujeto superara el siguiente criterio de aprendizaje: bien los 10 primeros ensayos consecutivos correctos, bien, a partir del décimo ensayo, un 90% correctos. Se presentaba un mensaje de *respuesta inadecuada* siempre que se emitía un error. Hubo un descanso de 30 segundos cada 20 ensayos.

Superado el entrenamiento se pasaba a la fase de registro, en la cual se instruía a los sujetos para que permanecieran relajados y con la mirada fija en el monitor. Se les indicaba, además, que debían evitar parpadear, pero que disponían del tiempo de aparición del asterisco y de otros descansos para hacerlo. En esta fase el material presentado y el procedimiento fueron similares al utilizado en la fase de entrenamiento, no obstante, cada una de las dos sesiones de registro —con o sin respuesta manifiesta— tuvo unas características procedimentales propias. A continuación detallamos las diferencias entre ellas:

- En la sesión en la que se requería respuesta manifiesta, el procedimiento fue igual al descrito para la fase de entrenamiento con dos excepciones: primera, el papel que jugaba el asterisco —que, en esta ocasión, además de

informar al sujeto del final de la serie y de que debía emitir su respuesta, le indicaba que disponía de un tiempo para parpadear—; segunda, no había *feedback* de respuesta inadecuada.

- La otra sesión se caracterizaba por no requerir del sujeto una respuesta manifiesta, en su lugar, las instrucciones incidían en la lectura atenta de las palabras, ya que al finalizar el experimento, se habría de contestar un cuestionario sobre el material presentado. En esta ocasión, el asterisco sólo informaba del final de la serie y de la disposición de un intervalo de tiempo para parpadear. Al final de la sesión, los sujetos contestaban un cuestionario para poder determinar si habían estado atentos al material presentado. Este cuestionario tenía dos partes: la primera consistía en una prueba de recuerdo libre en la cual se había de escribir en una hoja los nombres de las categorías presentadas durante el experimento —la consigna dada al sujeto fue la de escribir el máximo número de categorías—; la segunda era una prueba de reconocimiento en la que se presentaba una lista de 42 palabras —32 habían aparecido como estímulo objetivo durante la realización del experimento (8 con cada tipo de congruencia)— ante las que el sujeto debía indicar si cada una de las palabras había aparecido o no entre el material del experimento.

En cada fase de registro, todos los sujetos fueron sometidos a un total de 168 ensayos —42 de cada tipo (congruencia alta con la categoría, congruencia media, congruencia baja e incongruencia)—, distribuidos en 14 bloques de 12 ensayos. Se controló el orden de los ensayos dentro de cada bloque: tres ensayos de cada tipo aparecían de forma aleatoria pero con la restricción de que no hubiera más de dos ensayos de cada tipo consecutivos. Además, dentro de cada bloque nunca se repetía la misma categoría. Hubo un descanso de 30 segundos entre bloques con el fin de facilitar al sujeto un tiempo para parpadear. La fase de registro tuvo una duración aproximada de 35 minutos en cada sesión.

La distribución de cada ensayo fue la siguiente: las palabras permanecían en la pantalla durante 500 ms y el intervalo interestímulo era de 1000 ms. El intervalo entre-ensayos fue de 2000 ms. Ambos intervalos abarcaban desde la desaparición de un estímulo hasta la presentación del siguiente (ISI – *interstimulus interval*).

5.2.4. Adquisición de datos

La actividad electroencefalográfica (EEG) se registró monopolarmente con electrodos de estaño ubicados en 7 localizaciones del Sistema Internacional 10-20: Fz, Cz, Pz, C3, C4, P3 y P4. Para ello utilizamos un gorro comercializado (Electro-Cap International, Eaton, OH). Todas las localizaciones estaban referenciadas a los lóbulos de las orejas y se utilizó como electrodo de tierra un punto equidistante entre Fpz y Fz. El electrooculograma (EOG) se registró bipolarmente con electrodos de Ag/AgCl: para el control de movimientos oculares verticales colocamos un electrodo encima y otro debajo del ojo derecho, mientras que para el control de movimientos oculares horizontales se utilizaron dos electrodos, cada uno de ellos ubicado a un centímetro del cantus externo de cada ojo.

Todos los canales de EEG y EOG se amplificaron con un amplificador SynAmp™, modelo 5083 (NeuroScan, Inc., Herndon, Va), con un filtro pasabanda de 0.05-30 Hz. La tasa de muestreo fue de 250 Hz. Además, se utilizó un filtro de corte de 50 Hz. La impedancia de los electrodos estuvo siempre por debajo de 5k Ω . Tanto el registro electroencefalográfico como los posteriores análisis de las ondas se llevaron a cabo con el programa SCAN 3.0 (NeuroScan, Inc., Herndon, Va).

5.2.5. Análisis de datos

El análisis de datos se desarrolló en tres fases:

1.- Análisis descriptivo de los datos de la prueba de recuerdo y de la prueba de reconocimiento. Las variables analizadas fueron el *Porcentaje de recuerdo* y el *Porcentaje de reconocimiento*.

2.- Análisis del ajuste de respuesta (este análisis sólo pudo llevarse a cabo en la condición de respuesta manifiesta). Dado que esta variable es discreta y finita — oscila entre 0 y 48 errores— recurrimos para analizarla a técnicas estadísticas no-paramétricas. En primer lugar utilizamos la prueba de Friedman para medidas repetidas tomando como factor intrasujetos el *Grado de congruencia* (alto, medio, bajo, incongruencia) y como variable dependiente el *Número de errores*. En caso de

rechazar la hipótesis nula de no diferencia entre las distribuciones para las distintas condiciones analizadas, realizamos contrastes parciales utilizando la prueba T de Wilcoxon y usando la aproximación de Hochberg para controlar el incremento en la tasa de error tipo I (Keselman, 1998; Keselman, comunicación personal, Febrero, 2000). Con respecto a la variable *Número de errores* sólo se incluyeron aquellas respuestas en las que los participantes presionaban el botón incorrecto de respuesta; no se consideraron errores ni las no-respuestas ni las respuestas dadas fuera del intervalo de 100 a 1900 milisegundos⁵.

3.- Análisis de la respuesta psicofisiológica. En primer lugar, el registro continuo se dividió en épocas que comprendían desde los 100 ms antes de la presentación del estímulo hasta los 1000 ms después de su aparición. Luego, el voltaje se ajustó a la línea base —definiéndose ésta como el intervalo entre los 100 ms antes de la presentación del estímulo y el momento de su presentación (-100 a 0 ms)—. Finalmente, se obtuvieron las ondas promedio para cada sujeto y para cada tipo de ensayo (definidos en función de las condiciones experimentales). Sin embargo, antes de proceder a este último paso, algunos ensayos tuvieron que eliminarse del promedio; los criterios de eliminación fueron los que siguen: por una parte, se eliminaron aquellos ensayos que presentaban actividad en los canales oculares por encima o por debajo de 50 μ v; por otra, se eliminaron aquellos en los que el sujeto había emitido una respuesta incorrecta —en los casos en que había respuesta manifiesta por parte del sujeto—; por último, también se eliminaron los que presentaban saturación del amplificador o excesiva actividad muscular.

El análisis de los ERPs consistió en una serie de ANOVAs de medidas repetidas 4 x 2 x 7 con las variables *Grado de congruencia* (alto, medio, bajo, incongruencia), *Tipo de respuesta* (con o sin respuesta) y *Localización* (C3, C4, P3, P4, Cz, Fz y Pz). Como variable dependiente se trabajó con el voltaje promedio para las siguientes ventanas de latencia: 250-300, 300-350, 350-400, 400-450 y 450-500 para estudiar el efecto del componente N400; 500-600, 600-700 y 700-800 para investigar el componente P600.

⁵ Los ensayos con tiempos de reacción inferiores a 100 ms o superiores a 1900 ms se consideraron anticipaciones y lapsus, repectivamente (Malapeira, 1987).

En caso de violación de la condición de esfericidad en el ANOVA se procedió como sigue: primero se recurrió al análisis multivariable de la varianza, siempre que se cumpliera la condición de que n fuera mayor que k por 10 o más (Hand & Taylor, 1993; Maxwell & Delaney, 1990; Keselman, 1998; Keselman & Keselman, 1993; Keselman, H.J., Keselman, J.C. & Lix, L.M., 1995; Vasey & Thayer, 1987; Winer, Brown & Michels, 1991); en caso de incumplimiento de esta condición, utilizamos el procedimiento de Greenhouse-Geisser (1958) para la corrección de los grados de libertad del ANOVA. Además de ofrecer la significación de los índices estadísticos —univariable o multivariable—, y con el objeto de complementar el análisis, también reportamos, en todos los casos, el cálculo del tamaño del efecto⁶ (Cohen, 1988). Finalmente, para una adecuada interpretación de los efectos que resultaron significativos, realizamos los siguientes análisis complementarios: 1º, para los efectos principales planteamos contrastes planificados usando la aproximación de Hochberg para rechazar o no la hipótesis nula (Keselman, 1998; Keselman, 2000); y, 2º, para los efectos interactivos estimamos los efectos simples.

5.3. RESULTADOS

5.3.1. Análisis descriptivo de los datos de la prueba de recuerdo y de la prueba de reconocimiento.

El análisis descriptivo de las respuestas a las pruebas de recuerdo y reconocimiento muestra los siguientes resultados. La media del *porcentaje de recuerdo* fue 62.8 ($\sigma = 13.1$; valor mínimo = 42.8; valor máximo = 80.9); y con respecto al *porcentaje de reconocimiento* la media fue 71.2 ($\sigma = 10.3$; valor mínimo = 57.1; valor máximo = 88.1). A partir de estos resultados consideramos que durante la sesión de registro en la que no se pedía una respuesta manifiesta hubo un nivel de atención aceptable por parte de los participantes.

⁶ La ventaja principal de la utilización de este tipo de índices respecto de los niveles de significación radica en que mientras que éstos sólo nos informan de la probabilidad de cometer error tipo I, aquéllos, en cambio, nos ofrecen información acerca de la proporción de variabilidad observada en los datos atribuible al efecto de los tratamientos. Nos permiten, en definitiva, poder decidir si el efecto de la variable independiente es grande, intermedio o bajo. Aunque existen distintos índices del tamaño del efecto, en nuestro caso, hemos optado por el índice η^2 .

5.3.2. Análisis del Número de errores

El análisis estadístico mostró diferencias significativas para la variable *número de errores* en función del grado de congruencia, $\chi^2(3, N=16) = 14.17$, $p = 0.003$. En cuanto a los contrastes parciales, cabe destacar las diferencias encontradas en el número de errores entre las condiciones de congruencia alta y baja, $Z = -2.99$, $p = 0.003$, y entre las condiciones de congruencia media y baja, $Z = -2.97$, $p = 0.003$. En efecto: se produjeron más errores cuando la congruencia era baja que cuando la congruencia era media o alta. Por otra parte, no encontramos diferencias al comparar el número de errores para palabras incongruentes con cada uno de los otros tres tipos de palabras. En la Tabla 5.1 mostramos el valor de la media y el error estándar del número de errores en cada grado de congruencia.

Tabla 5.1. Media y error estándar para la variable *Número de errores* en cada grado de congruencia

	Congruencia alta	Congruencia media	Congruencia baja	Incongruencia
Media	1.78	2.97	7.73	4.46
Error estándar	.63	.82	.98	1.28

5.3.3. Análisis de los ERPs

Las Figuras 5.2 y 5.3 muestran los grandes promedios para cada grado de congruencia en las condiciones de respuesta y no-respuesta (en la parte inferior aparecen representadas las ondas diferencia). Puesto que nos interesa especialmente comparar los potenciales provocados por palabras incongruentes y de congruencia alta con la categoría, presentamos también, en la Figura 5.4, los grandes promedios sólo para estas condiciones. Nos pareció oportuno incluir esta figura porque facilita la inspección visual de los ERPs para estos dos tipos de estímulos.

De acuerdo con la Figura 5.2 no parece haber grandes diferencias en la actividad eléctrica registrada bajo los distintos grados de congruencia en la condición de respuesta hasta aproximadamente los 300 ms; sin embargo, a partir de este rango de latencia las diferencias en el voltaje son evidentes. Por una parte, destaca un claro componente negativo tardío con pico más o menos en los 400 ms tras la

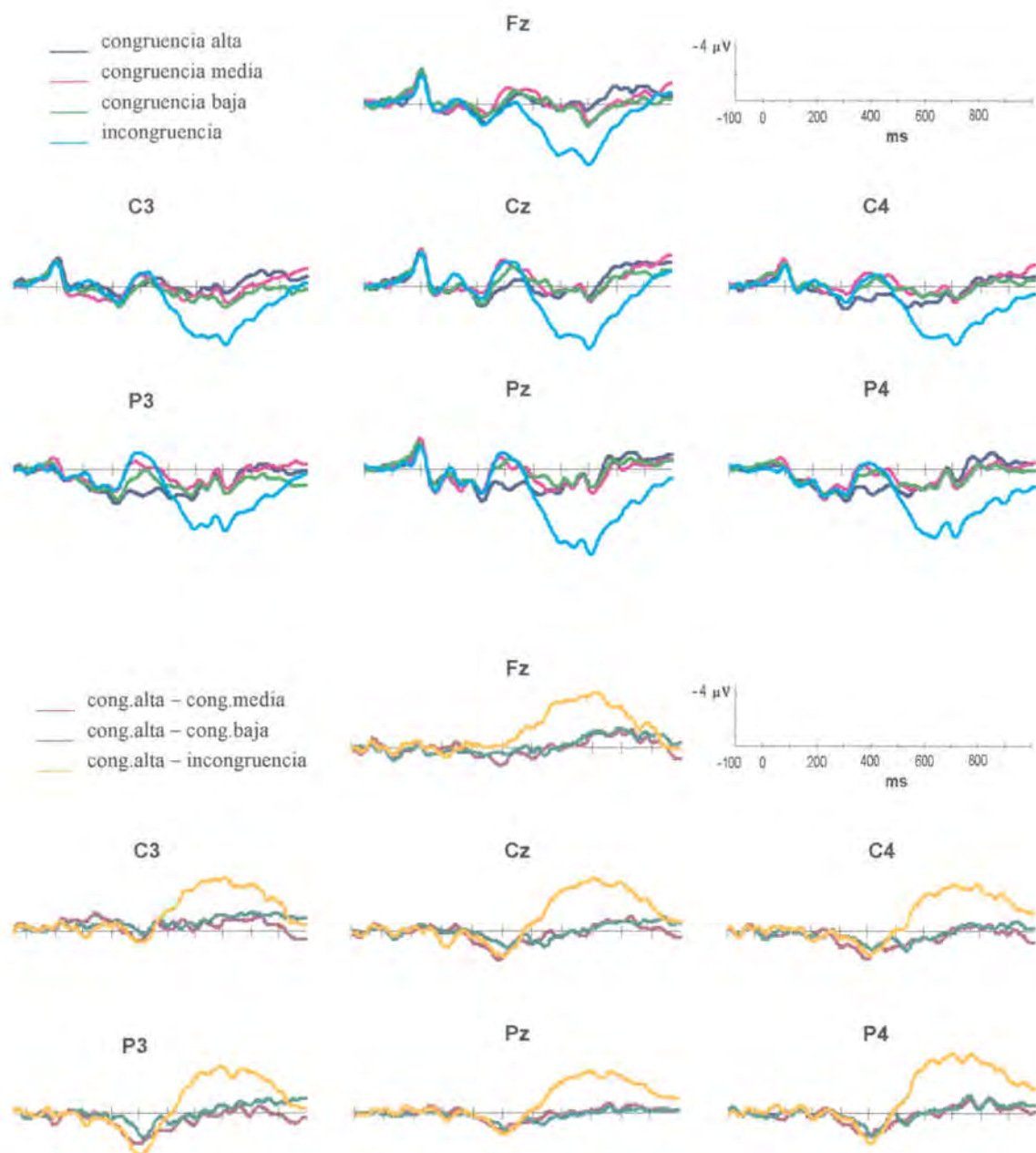


Figura 5.2. Arriba: Grandes promedios para los distintos grados de congruencia en la condición de respuesta manifiesta.

Abajo: Ondas diferencia para la condición de respuesta manifiesta. Se calcularon restando de los ERPs registrados en la condición de congruencia alta con la categoría aquellos registrados en cada uno de los otros tres tipos de estímulo.

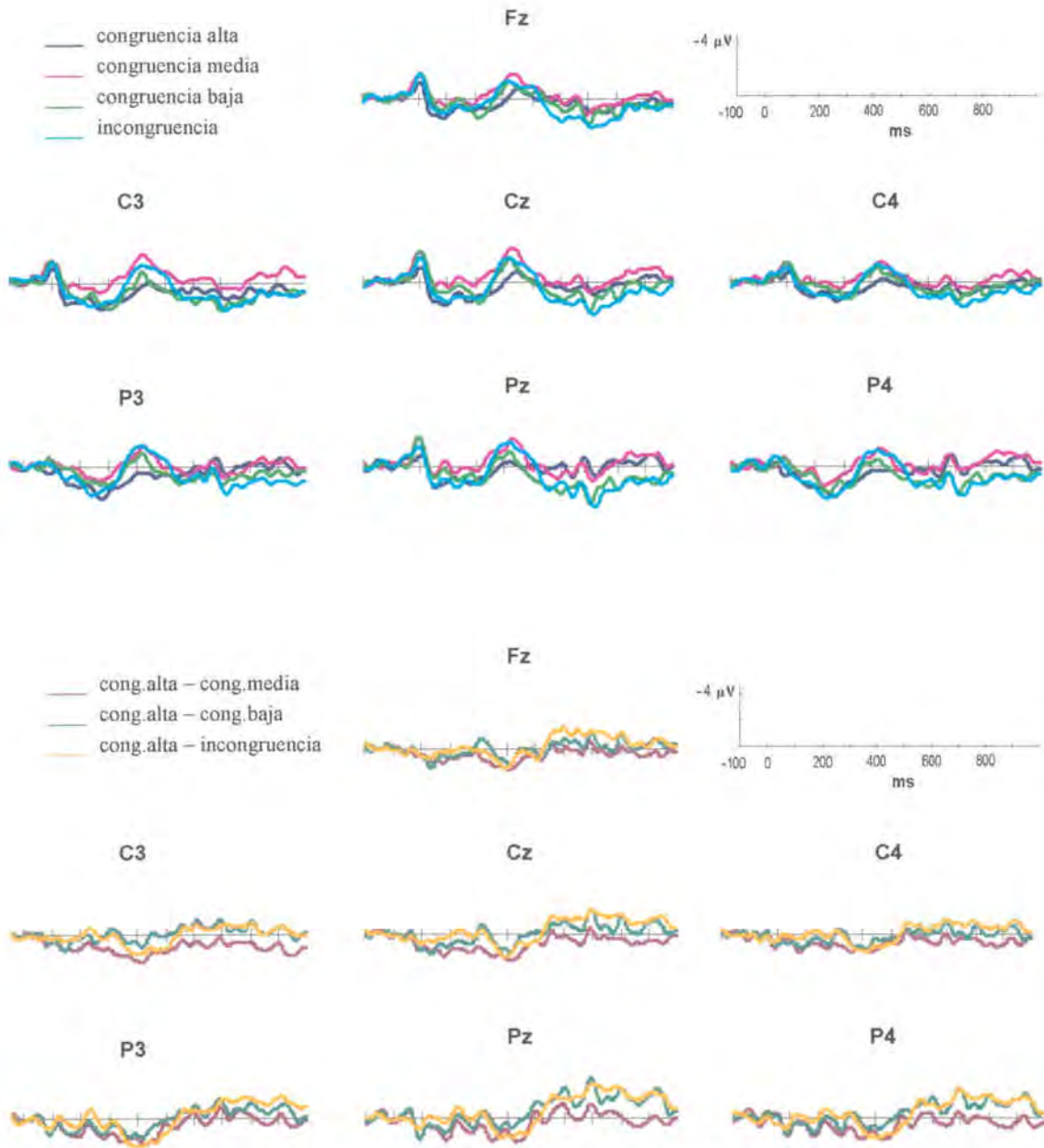


Figura 5.3. Arriba: Grandes promedios para los distintos grados de congruencia en la condición de no-respuesta.

Abajo: Ondas diferencia para la condición de no-respuesta. Se calcularon restando de los ERPs registrados en la condición de congruencia alta con la categoría aquellos registrados en cada uno de los otros tres tipos de estímulo.

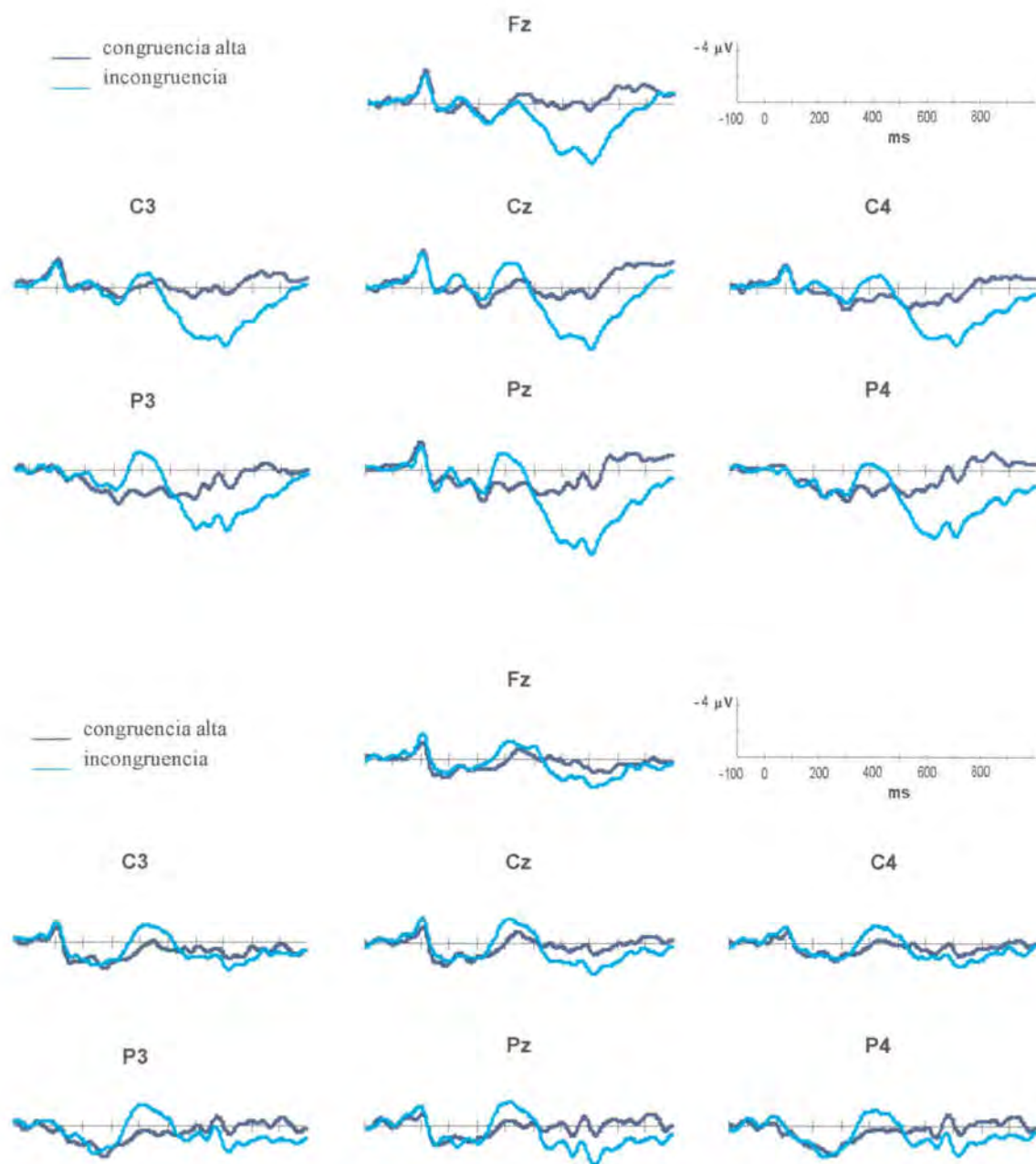


Figura 5.4. *Arriba:* Grandes promedios para las palabras de congruencia alta e incongruentes en la condición de respuesta manifiesta.

Abajo: Grandes promedios para las palabras de congruencia alta e incongruentes en la condición de no-respuesta.

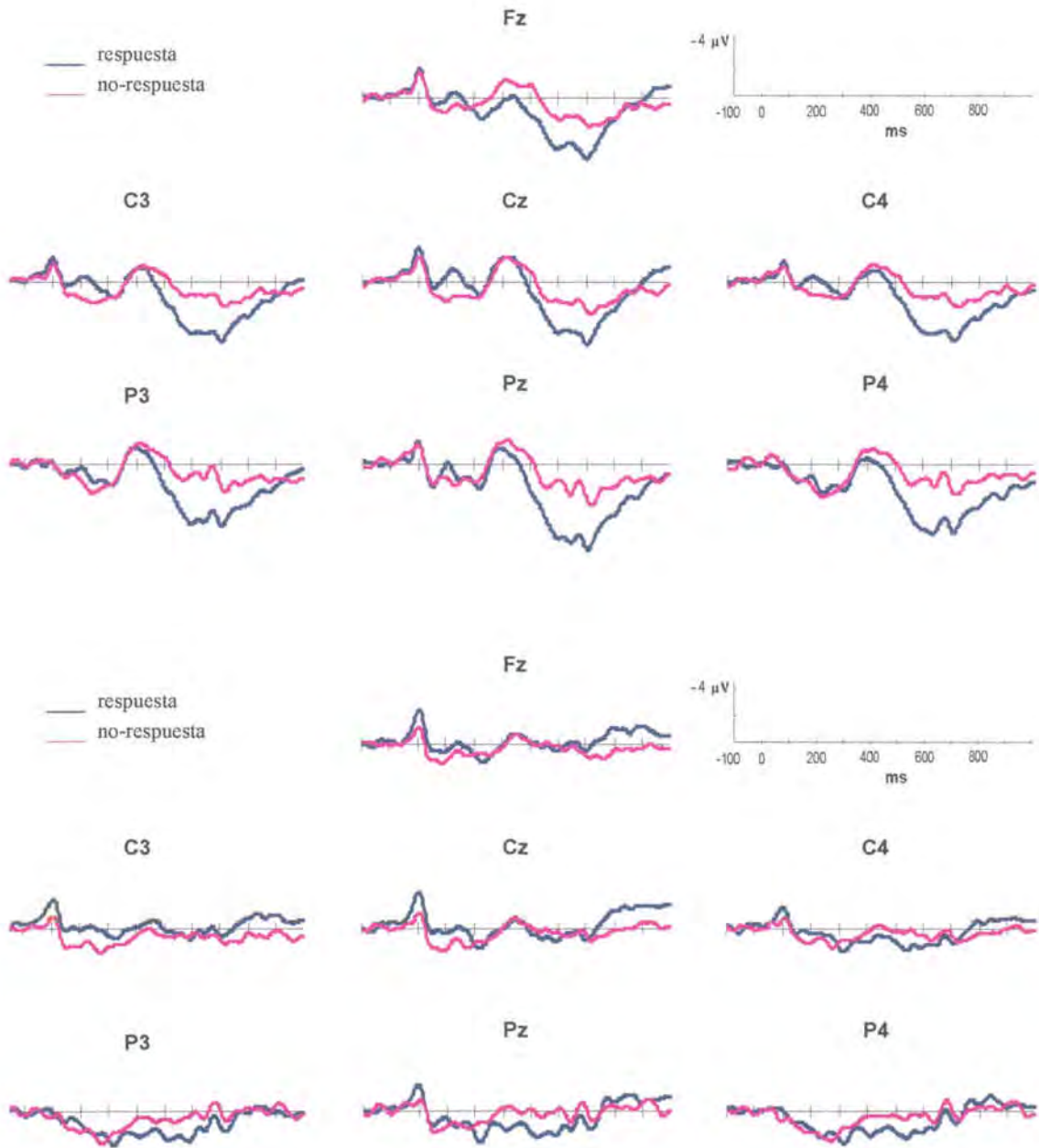


Figura 5.5. *Arriba:* Grandes promedios para las condiciones de respuesta y no-respuesta ante palabras incongruentes.

Abajo: Grandes promedios para las condiciones de respuesta y no-respuesta ante palabras de congruencia alta.

presentación de palabras incongruentes y de congruencia media y baja. Por otra, un prominente pico positivo —máxima amplitud cerca de los 650 ms— sobresale para las palabras incongruentes.

Las diferencias observadas en el patrón de ERPs entre los distintos grados de congruencia para la condición de no-respuesta —en la que los participantes no debían responder— son menos marcadas que en el caso anterior (véase Figura 5.3). Destaca lo siguiente: 1º, un pico negativo tardío aparece para palabras incongruentes, congruentes medias y congruentes bajas, sin embargo, no se manifiesta en las palabras congruentes con la categoría; 2º, no se manifestó ningún componente positivo tardío ante los distintos tipos de palabras presentados.

Dado que las principales diferencias entre las condiciones de respuesta y no-respuesta se deben a la aparición de una onda positiva tardía de máxima amplitud ante las incongruencias cuando se requiere una respuesta manifiesta al sujeto, presentamos en la Figura 5.5 los grandes promedios en ambas condiciones para la congruencia alta y la incongruencia. Si bien al presentar una palabra que guardaba una relación de congruencia alta con la categoría no se observan grandes diferencias en el patrón de voltaje obtenido en las condiciones de respuesta y no-respuesta, tales diferencias son evidentes, en cambio, cuando presentamos una palabra incongruente con la categoría.

5.3.3.1. N400

Tal como indicábamos en el apartado correspondiente al análisis de datos, estudiamos el efecto del N400 analizando la amplitud promedio en las siguientes ventanas de latencia: 250-300, 300-350, 350-400, 400-450 y 450-500. En las Tablas 5.2 y 5.3 detallamos los resultados del ANOVA para las distintas fuentes de variación analizadas —efectos principales e interactivos—.

En cuanto a los efectos principales, sólo se obtuvieron diferencias significativas para la variable *Grado de congruencia* en las ventanas 300-350, $F(3,45) = 3.11$, $p = 0.03$, $\eta^2 = 0.17$; 350-400, $F(3,45) = 5.75$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.28$; y, 400-450, $F(3,45) = 7.01$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.32$. Los contrastes parciales mostraron los siguientes resultados. En la ventana de 300-350 ms hubo diferencias entre las

palabras de congruencia alta y media, $F(1,15) = 9.06$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.37$, y también entre aquéllas de congruencia media y baja, $F(1,15) = 8.12$, $p = 0.012$, $\eta^2 = 0.35$: el voltaje fue más negativo para las palabras de congruencia media que para los otros tres tipos. Por lo que refiere a la ventana de 350-400 ms, se encontraron diferencias entre las palabras de congruencia alta y media, $F(1,15) = 15.66$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.51$, y entre las de congruencia alta y las incongruentes, $F(1,15) = 10.68$, $p = 0.005$, $\eta^2 = 0.42$: la amplitud promedio en esta ventana fue más negativa para las palabras de congruencia media e incongruentes que para aquéllas de congruencia alta con la categoría; en lo que respecta a las palabras de congruencia baja no se encontraron diferencias significativas con los otros tres tipos, a pesar de presentar una amplitud intermedia entre la observada para congruencia alta y las encontradas en los otros dos tipos de palabras. Finalmente, en cuanto a los contrastes planteados para la ventana de 400-450 se encuentran resultados muy parecidos a los obtenidos en la ventana anterior: diferencia entre palabras de congruencia alta y media, $F(1,15) = 16.82$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.53$; entre congruencia alta y baja $F(1,15) = 16.49$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.52$; y, entre congruencia alta e incongruencia, $F(1,15) = 8.67$, $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.37$. Estas diferencias se traducen en una mayor positividad en el voltaje para las palabras congruentes que para los otros tres tipos. En la Tabla 5.4 mostramos el voltaje promedio para cada tipo de palabra en las distintas ventanas comentadas en este párrafo.

En el análisis de los efectos interactivos que incluían el factor *Localización* se detectó una interacción significativa entre esta variable y el *Grado de congruencia* en la ventana de 400-450 ms: $F(18,270) = 2.49$, $p = 0.046$, $\varepsilon = 0.24$, $\eta^2 = 0.14$. El análisis de los efectos simples evidenció que las diferencias observadas entre las palabras de congruencia alta y media eran estadísticamente significativas en todas las localizaciones. Sin embargo, las diferencias entre congruencia alta y baja, y entre congruencia alta e incongruencia sólo alcanzaron significación estadística en las localizaciones centrales y parietales. En la Tabla 5.5 mostramos la amplitud promedio para las palabras de congruencia alta y las incongruentes en las distintas localizaciones.

Finalmente, por lo que respecta a la variable *Tipo de respuesta*, no se encontraron diferencias en el voltaje al comparar las condiciones de respuesta y de

Tabla 5.2. Resultados del ANOVA para los efectos *Grado de congruencia*, *Tipo de respuesta* y *Grado de congruencia x Tipo de respuesta*.

Tiempo (ms)	Grado de congruencia			Tipo de respuesta			Grado x Respuesta		
	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
250-300	.871 ^a	.463	.055	.711 ^a	.412	.045	1.251 ^a	.302	.077
300-350	3.115 ^a	.035 [*]	.172	1.105 ^a	.310	.069	.460 ^a	.711	.030
350-400	5.751 ^a	.002 ^{**}	.277	.769 ^a	.394	.049	.010 ^a	.999	.001
400-450	7.078 ^a	.001 ^{***}	.321	2.243 ^a	.155	.130	.253 ^a	.859	.017
450-500	1.869 ^a	.148	.111	2.027 ^a	.175	.119	.782 ^a	.510	.050
500-600	4.595 ^a	.007 ^{**}	.234	4.371 ^a	.054	.226	2.719 ^a	.056	.153
600-700	11.372 ^a	.000 ^{***}	.431	6.145 ^a	.026 [*]	.291	5.960 ^a	.002 ^{**}	.284
700-800	10.472 ^a	.000 ^{***}	.411	1.050 ^a	.322	.065	3.558 ^a	.021 [*]	.192

^a esfericidad asumida; ^b corrección de Greenhouse-Geisser
^{*} .05 ≥ *p* > .01; ^{**} .01 ≥ *p* > .001; ^{***} *p* ≤ .001

Tabla 5.3. Resultados del ANOVA para los efectos interactivos en que se incluye el factor *Localización*.

Tiempo (ms)	Grado x Localización			Respuesta x Localización			Grado x Respuesta x Localización		
	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
250-300	.747 ^b	.582	.047	1.647 ^b	.195	.099	.819 ^b	.544	.052
300-350	.794 ^b	.541	.050	1.699 ^b	.175	.102	1.427 ^b	.233	.087
350-400	1.937 ^b	.117	.114	1.639 ^b	.201	.099	1.261 ^b	.294	.078
400-450	2.495 ^b	.046 [*]	.143	2.223 ^b	.092	.129	1.441 ^b	.228	.088
450-500	1.874 ^b	.115	.111	1.499 ^b	.222	.091	1.100 ^b	.366	.068
500-600	.957 ^b	.445	.060	2.273 ^b	.079	.132	1.153 ^b	.341	.071
600-700	1.227 ^b	.303	.076	2.559 ^a	.025 [*]	.146	.960 ^b	.453	.060
700-800	1.483 ^b	.195	.090	2.205 ^a	.050 [*]	.128	1.066 ^a	.387	.066

^a esfericidad asumida; ^b corrección de Greenhouse-Geisser
^{*} .05 ≥ *p* > .01; ^{**} .01 ≥ *p* > .001; ^{***} *p* ≤ .001

Tabla 5.4. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) obtenidos en las ventanas 300-350, 350-400 y 400-450, para los distintos tipos de palabras presentados.

	300-350	350-400	400-450
Congruencia Alta	1.82 (.55)	1.08 (.41)	.49 (.44)
Congruencia Media	.57 (.42)	-.84 (.39)	-1.46 (.45)
Congruencia Baja	1.75 (.52)	.13 (.42)	-.84 (.56)
Incongruencia	1.45 (.47)	-.61 (.57)	-1.41 (.59)

Tabla 5.5. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) obtenidos en la ventana 400-450, para las palabras incongruentes y de congruencia alta en las distintas localizaciones.

	C3	C4	P3	P4	Fz	Cz	Pz
Congruencia Alta	.04 (.73)	.04 (.39)	1.56 (.65)	1.40(.65)	-.40 (.63)	-.45 (.63)	.76 (.58)
Incongruencia	-1.32 (.70)	-1.33 (.60)	-1.60 (.73)	-.86 (.44)	-.77 (.81)	-2.32 (.72)	-1.62 (.61)
Diferencia	1.36	1.37	3.16	2.26	.37	1.87	2.38

Tabla 5.6. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) obtenidos en las ventanas 500-600, 600-700 y 700-800, para los distintos tipos de palabras en las condiciones de respuesta y no-respuesta.

	500-600			600-700			700-800		
	Resp.	No-Resp.	Dif.	Resp.	No-Resp.	Dif.	Resp.	No-Resp.	Dif.
Cong. Alta	1.51 (.59)	.42 (.70)	1.09	.91 (.44)	.37 (.76)	.54	.00 (.47)	.69 (.75)	-.69
Cong. Media	.95 (.66)	.00 (.75)	.95	.80 (.49)	.11 (.75)	.69	.81 (.40)	.49 (.77)	.32
Cong. Baja	.83 (.74)	1.00 (.48)	-.17	1.05 (.61)	1.45 (.60)	-.40	.92 (.46)	1.55 (.63)	-.63
Incongruencia	3.78 (.90)	.90 (.44)	2.88	5.63 (.89)	1.66 (.49)	3.97	4.9 (1.03)	2.38 (.57)	2.52

Nota: Resp. = respuesta; No-Resp. = no-respuesta; Dif. = diferencia (en μV).

Tabla 5.7. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) obtenidos en las ventanas 600-700 y 700-800, para las condiciones de respuesta y no-respuesta en las distintas localizaciones.

	600-700							700-800						
	C3	C4	P3	P4	Fz	Cz	Pz	C3	C4	P3	P4	Fz	Cz	Pz
Resp.	1.92 (.47)	1.92 (.39)	2.36 (.63)	2.4 (.37)	1.60 (.59)	1.66 (.47)	2.84 (.46)	1.69 (.16)	1.57 (.30)	2.09 (.61)	1.68 (.45)	1.39 (.51)	1.17 (.36)	2.11 (.38)
No-Resp.	.91 (.43)	.78 (.35)	.52 (.47)	.73 (.52)	1.02 (.56)	1.05 (.51)	1.25 (.53)	1.41 (.51)	1.15 (.38)	1.07 (.57)	.99 (.58)	1.51 (.54)	1.32 (.54)	1.49 (.56)
Dif.	1.01	1.14	1.84	1.67	.58	.61	1.01	.28	.42	1.02	.69	-.12	-.15	.62

Nota: Resp. = respuesta; No-Resp. = no-respuesta; Dif. = diferencia (en μV).

no-respuesta en las ventanas de latencia que abarcaban desde los 250 hasta los 500 milisegundos. No alcanzó significación estadística ni el efecto principal de la variable ni los efectos interactivos en los que ésta aparecía.

5.3.3.2. P600

Con el objeto de estudiar el efecto del componente P600, procedimos a analizar la amplitud promedio para las siguientes ventanas de latencia: 500-600, 600-700 y 700-800. En las Tablas 5.2 y 5.3 detallamos los resultados del ANOVA para las distintas fuentes de variación analizadas —efectos principales e interactivos—.

Hemos encontrado diferencias entre los distintos tipos de palabras —efecto principal de la variable *Grado de congruencia*— en las tres ventanas analizadas: $F(1,45) = 4.59$, $p = 0.007$, $\eta^2 = 0.23$, para la ventana 500-600; $F(1,45) = 11.37$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.43$, para la ventana 600-700; y, $F(1,45) = 10.47$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.41$, para la ventana 700-800. En concreto, los contrastes parciales nos muestran que las palabras incongruentes provocan una amplitud más positiva entre los 500 y los 800 ms post-estímulo que las palabras de los otros tres tipos de congruencia. A continuación destacamos algunos de los resultados obtenidos en los contrastes. En la ventana 500-600 hubo diferencias estadísticamente significativas al comparar las condiciones de incongruencia y congruencia alta, $F(1,15) = 5.84$, $p = 0.029$, $\eta^2 = 0.28$; incongruencia y congruencia media, $F(1,15) = 9.91$, $p = 0.007$, $\eta^2 = 0.40$; e incongruencia y congruencia baja, $F(1,15) = 7.56$, $p = 0.015$, $\eta^2 = 0.34$. En la ventana de 600-700 resultaron significativos los contrastes entre incongruencia y congruencia alta, $F(1,15) = 19.16$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.56$; incongruencia y congruencia media, $F(1,15) = 22.51$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.60$; e incongruencia y congruencia baja, $F(1,15) = 15.21$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.50$. Finalmente, en la ventana 700-800 se alcanzó significación estadística al comparar las condiciones de incongruencia y congruencia alta, $F(1,15) = 16.27$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.52$; incongruencia y congruencia media, $F(1,15) = 17.14$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.53$; e incongruencia y congruencia baja, $F(1,15) = 15.25$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.50$.

También se encontraron diferencias en la amplitud de las ventanas 500-600 y 600-700 en función de si el participante emitía o no una respuesta manifiesta —

efecto principal de la variable *Tipo de respuesta*—: $F(1,15) = 4.37$, $p = 0.054$, $\eta^2 = 0.23$, para la ventana 500-600; $F(1,15) = 6.14$, $p = 0.026$, $\eta^2 = 0.29$, para la ventana 600-700. Se observó que el voltaje era más positivo entre los 500 y 700 ms post-estímulo cuando había respuesta manifiesta por parte de los participantes. Este efecto estaba modulado por el tipo de palabra presentada, puesto que se obtuvo una interacción significativa entre las variables *Grado de congruencia* y *Tipo de respuesta*: $F(3,45) = 2.72$, $p = 0.056$, $\eta^2 = 0.15$, para la ventana 500-600; $F(3,45) = 5.96$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.28$, para la ventana 600-700; y, $F(3,45) = 3.56$, $p = 0.021$, $\eta^2 = 0.19$, para la ventana 700-800. El análisis de los efectos simples mostró diferencias en voltaje entre la condición de respuesta y no-respuesta sólo cuando la palabra presentada era incongruente con la serie; no se encontraron diferencias para los otros tres tipos de palabras. Los resultados de este análisis fueron similares en las tres ventanas analizadas. En la Tabla 5.6 mostramos los promedios para cada condición experimental en cada una de las ventanas: destacan las diferencias de 2.88, 3.97 y 2.52 microvoltios entre las condiciones de respuesta y no-respuesta cuando la palabra es incongruente, frente a diferencias que oscilan entre 0.17 y 1.09 microvoltios para los otros tres tipos de palabras.

En cuanto a las diferencias topográficas, cabe subrayar el resultado de la interacción *Tipo de respuesta* x *Localización* que se observó en el análisis de las ventanas 600-700 y 700-800: $F(6,90) = 2.56$, $p = 0.025$, $\eta^2 = 0.15$, para la ventana 600-700 y, $F(6,90) = 2.20$, $p = 0.05$, $\eta^2 = 0.13$, para la ventana 700-800. El análisis de los efectos simples puso de manifiesto las diferencias en amplitud entre las condiciones de respuesta y no-respuesta para las localizaciones C3, C4, P3, P4 y Pz, pero no para las otras localizaciones en el intervalo de los 600 a los 700 milisegundos. En cuanto a la otra ventana analizada (700-800 ms), sólo mostró diferencias en la localización P3 pero no en el resto. En la Tabla 5.7 mostramos los promedios para cada condición experimental en las dos ventanas donde la interacción resultó significativa.

No se observó ninguna diferencia estadísticamente significativa para ninguna de las otras interacciones analizadas.

5.4. DISCUSIÓN

Nuestros resultados confirman los obtenidos en investigaciones previas: una onda negativa se manifestó después de presentar una palabra incongruente con la categoría semántica previamente definida. Este efecto se observó entre los 350 y los 450 ms después de presentar la palabra objetivo y mostró una topografía centro-parietal en el intervalo comprendido entre los 400 y los 450 ms. Dadas estas características nos parece adecuado afirmar que esta onda es, en efecto, el componente N400-semántico; su coincidencia con éste, tanto en el tipo de manipulación experimental que la provoca —incongruencia semántica—, como en su latencia —aproximadamente 400 ms—, como en su topografía —centro-parietal—, parecen acreditar que se trata del mismo componente. Hay, sin embargo, una pequeña objeción a este argumento; a saber: la amplitud de nuestro N400 no variaba en función del grado de adecuación de la palabra a la categoría. Hemos comentado anteriormente que algunas investigaciones han puesto de manifiesto que la amplitud del N400 se ve modulada por la probabilidad de cierre de una palabra respecto al contexto de una sentencia (Kutas & Hillyard, 1984; Kutas et al., 1984). En nuestro caso esperábamos que este efecto podría trasladarse al campo de la categorización semántica. Los resultados, sin embargo, refutaron nuestras expectativas: aunque el componente N400 no apareció ante las palabras de congruencia alta, sí se manifestó ante los otros tres tipos de palabras —congruencia media, baja e incongruentes—; además, no hubo diferencias en la amplitud de este componente negativo para estos tres tipos de estímulos⁷.

Son dos los argumentos que, en nuestra opinión, pueden esgrimirse para justificar este resultado. Por una parte, consideramos que el proceso psicológico implicado ante la probabilidad de cierre en una sentencia podría no ser el mismo que el que se da al concluir una serie de palabras. De hecho, los autores que han

⁷ Se podrá objetar que si se encontró un efecto del grado de congruencia sobre el voltaje puesto que hubo diferencias estadísticamente significativas entre la congruencia media y los otros dos tipos de congruencia —alta y baja—. No obstante, no hemos dado especial relevancia a este resultado por dos motivos: 1º, estas diferencias sólo se encuentran en la ventana de 300 a 350 ms, por lo que se trata de un efecto demasiado temprano como para considerarlo un N400; 2º, el patrón de diferencias observado no se ajusta a nuestra predicción acerca de cómo influiría el grado de congruencia sobre la amplitud del componente N400, porque aunque el voltaje fue más negativo para la congruencia media que para los otros dos tipos de congruencias, no hubo, en cambio, diferencias entre la congruencia media y la incongruencia (ni entre congruencia alta y baja).

indagado sobre el efecto de la probabilidad de cierre de las palabras suelen utilizar sentencias de alta restricción contextual, es decir, que generan alta expectación respecto a la palabra que mejor completará la sentencia. En nuestro caso, no se trata de sentencias sino de series de palabras, ante la cuales no tiene por qué generarse una expectativa tan concreta como la que se suscita en las sentencias. En este sentido, la amplitud del componente N400 podría ser un indicador del grado de expectación o preparación de la palabra siempre que el contexto precedente genere altas expectativas respecto a su presentación. Aunque podría pensarse que los trabajos de Kutas y Hillyard (1984) y Kutas et al. (1984) contradicen esta afirmación, en nuestra opinión no lo hacen. Estos autores trabajando con sentencias en las que manipulaban no sólo la probabilidad de cierre sino también su restricción contextual, afirman que el componente N400 no es sensible a esta última manipulación aunque sí a la primera. En definitiva, lo que nos dicen es que el componente N400 aparece ante palabras de baja probabilidad de cierre tanto si la sentencia presenta una restricción contextual alta como si su restricción contextual es media o baja. Nuestros resultados confirman el suyo puesto que también hemos encontrado este componente ante las palabras de congruencia baja con la categoría. No obstante, hay una información que nos interesaría conocer y que estos autores no detallan en sus publicaciones: la existencia o no de diferencias en la amplitud del N400 para las distintas probabilidades de cierre en las sentencias de baja restricción contextual.

Existe una segunda explicación que nos permite justificar la ausencia de diferencias en la amplitud del componente N400 en función de los distintos grados de congruencia con la categoría. En efecto, estos resultados también podrían deberse a una selección inadecuada del material. La revisión posterior de las palabras utilizadas en el experimento como congruencia media y baja con la categoría nos llevó a concluir que tal vez el criterio de selección no fue el más adecuado. Si repasamos el procedimiento de selección del material nos encontramos con que: 1º, las palabras de la serie aparecían ordenadas de menor a mayor frecuencia, y, 2º, tanto las palabras de congruencia media como las de congruencia baja se escogían a partir de la séptima palabra —siempre que se cumplieran unos requisitos de frecuencia total y frecuencia parcial de aparición—. Dado el anterior proceso de selección nos encontramos con que las palabras de congruencia media y baja solían ocupar posiciones finales en cuanto al grado de

pertenencia a la categoría. Esto nos llevó a pensar que estas palabras quizá reflejaran una gradación de congruencia respecto a la categoría general pero no necesariamente respecto a la palabra que se presentaba delante de ellas, la cual siempre era una palabra de alta frecuencia. Esto provocaba que entre la penúltima y la última palabra de la serie hubiera muy poca relación semántica, a pesar de pertenecer a la misma categoría, lo cual podría ser motivo que explicara la falta de diferencias en la amplitud del componente N400 entre las palabras de congruencia media, baja y las incongruentes.

A continuación pasaremos a comentar el efecto que tuvo sobre los ERPs el hecho de que se impusiera o no una tarea de decisión a los participantes en el experimento. Son dos los aspectos que nos parecen especialmente relevantes: de un lado, vemos cómo la tarea de decisión no afecta al componente N400; de otro, un componente positivo tardío se manifiesta ante las palabras incongruentes cuando se impuso una tarea de decisión al sujeto.

En cuanto al primer aspecto, el hecho de que la interacción *Grado de congruencia x Tipo de respuesta* no resultara significativa en el análisis de la varianza de las ventanas correspondientes al N400, nos conduce a dos conclusiones relevantes. Por una parte, este resultado parecía evidenciar la independencia de este componente respecto al componente P300. Recordemos que en muchas ocasiones se ha expuesto como inconveniente para el registro del N400 el posible solapamiento de este componente con el P300. Nuestro experimento ha puesto de manifiesto que, como mínimo, en el tipo de tarea con la que hemos trabajado esto no es así. Por otra parte, el hecho de que el componente N400 se haya encontrado en una situación en la que no se ha de prestar atención a la incongruencia, sino que simplemente se tiene que leer el material, pone de manifiesto que nos encontramos ante un componente relativamente automático (Escera, comunicación personal, Mayo, 2001). No hemos calificado este componente como totalmente automático puesto que en la condición de no-respuesta se requería a los participantes que leyeran el material con atención, ya que al final del experimento deberían contestar unas cuestiones acerca de la información que se les había presentado. En consecuencia, en la condición de no-respuesta sí era necesario prestar atención al material, aunque no a la relación de congruencia o incongruencia entre las palabras. Encontramos un resultado muy similar a éste en Bentin, Kutas y Hillyard (1993),

quienes reportan el componente N400 ante pares de palabras semánticamente incongruentes en una tarea auditiva donde no había tarea de decisión. En línea con este resultado hemos encontrado, también, la investigación de Brualla, Romero, Serrano y Valdizán (1998), quienes encuentran una onda negativa similar al componente N400 en los estadios II y REM del sueño al presentar pares de palabras no relacionados semánticamente. Estos autores concluyen que *the 'N400-like' effect obtained during sleep stages II and the REM stage appears to indicate that, during these two stages, the accessing of the word heard in the mental lexicon and its automatic activation in the semantic memory would be possible* (Brualla et al., p. 289). En definitiva, tanto nuestros resultados como los de Bentin et al. y Brualla et al. respaldan la automaticidad del componente N400.

En relación con el segundo aspecto al que nos referimos anteriormente—la aparición de un componente positivo tardío ante palabras incongruentes siempre que hay decisión por parte del sujeto—, el resultado es totalmente coherente con investigaciones previas. Por una parte, se ha comentado en otro lugar de este texto que se espera la aparición de un P300 —conocido como P3b— ante las tareas de decisión (Honrubia, 1989; Kutas & Van Petten, 1994); por otra, recordemos que la amplitud de este componente se relaciona inversamente con la probabilidad subjetiva de aparición del estímulo (Duncan-Johnson & Donchin, 1977; Squires, Wickens, Squires & Donchin, 1976). En nuestro caso, un pico positivo tardío fue evidente para las palabras incongruentes cuando se impuso una tarea de decisión. Teniendo en cuenta que este tipo de palabras tenía una probabilidad de aparición de 0.25 con respecto a las palabras congruentes con la categoría, parece lógico que el componente P300 sea más amplio ante este tipo de estímulos. Por otra parte, parece también justificado que el P300 no apareciera cuando los participantes en el experimento simplemente leían las palabras pero no tomaban decisiones respecto de ellas. Otro elemento que relaciona la onda positiva tardía que hemos obtenido con el componente P300 es su topografía. En efecto, esta onda presentó máxima amplitud en las localizaciones centrales y parietales, coincidiendo con la topografía característica del P300 —P3b— (Coles & Rugg, 1995).

No queremos finalizar estas conclusiones sin presentar una objeción al argumento que hemos sostenido sobre la ausencia de solapamiento entre N400 y P300: son muchas las investigaciones que muestran que la latencia del P300 es un

indicador del tiempo de evaluación del estímulo (Donchin & Coles 1988a, b; Kutas, McCarthy & Donchin, 1977; Magliero, Bashore, Coles & Donchin, 1984; McCarthy & Donchin, 1981; para una revisión, véase Coles, Smid, Scheffers & Otten, 1995); en consecuencia, tal vez no haya solapamiento entre N400 y P300 para el tipo de tareas con el que hemos trabajado, no obstante, sí podría darse si la tarea utilizada fuera más sencilla para los sujetos. De hecho, la latencia del P300 puede variar entre los 300 y los 1000 ms, incrementándose gradualmente a medida que la evaluación del estímulo se hace más compleja. Visto lo anterior, si bien podemos descartar el problema del solapamiento entre estos dos componentes cuando trabajemos con una tarea de categorización semántica, no podemos generalizar esta conclusión a otro tipo de tareas que impliquen menor complejidad.

6. SEGUNDO EXPERIMENTO: TAREA TIPO STROOP

6.1. INTRODUCCIÓN

Hemos comentado en el marco teórico que la naturaleza del componente N400 ha sido muy discutida. Nos referimos, en concreto, al hecho de si se trata de un componente vinculado al procesamiento semántico de material lingüístico, o si, por el contrario, se trata de un indicador del procesamiento semántico en general. En este sentido son varias las investigaciones que han encontrado ondas tipo N400 ante la presentación de incongruencias semánticas en materiales no lingüísticos. Por ejemplo, Barret y Rugg (1990), Ganis et al. (1996) y Nigan et al. (1992) encuentran una onda negativa tardía al presentar ese tipo de incongruencias utilizando dibujos o imágenes; por otra parte, Castle et al. (2000), Grigor et al. (1999) y Sarfarazi et al. (1999), las encuentran al utilizar estímulos olfativos; finalmente, Katayama y Yagi (1992) y Rebai et al. (1997) las descubren al utilizar tareas tipo Stroop. Todos estos autores afirman que el componente N400 es, en definitiva, un índice del procesamiento semántico amodal, y no un indicador exclusivo del procesamiento de material verbal. Existen, sin embargo, pequeñas discrepancias entre las negatividades reportadas por este grupo de investigadores y aquéllas obtenidas ante material lingüístico: básicamente se trata de diferencias en cuanto a la topografía de estas ondas.

En torno a la polémica descrita en el párrafo anterior nos interesó profundizar un poco más en el patrón de ERPs que se manifiesta ante tareas tipo Stroop. La

analogía de estas tareas con aquellas tareas típicamente vinculadas al componente N400 es evidente: si en éstas se muestra una incongruencia semántica entre la palabra presentada y la preparada por el sujeto, en aquéllas se produce una incongruencia entre los contenidos semánticos de una palabra y de un color. También nos pareció conveniente abordar este tipo de tareas porque el paradigma Stroop destaca dentro de la Psicología como uno de los más estudiados; de hecho, McLeod, en su revisión del año 1991, afirmó que existían más de 700 artículos publicados sobre el efecto Stroop, dato que nos sirve de indicador acerca del interés científico que ha despertado este paradigma.

Son bastantes las investigaciones en las que se registran ERPs utilizando la tarea Stroop clásica o tareas tipo Stroop. La diferencia entre un tipo y otro de tareas es la siguiente: mientras que la tarea Stroop clásica consiste en pedir al sujeto que nombre un color que puede ser igual o diferente del color que denota una palabra, las tareas tipo Stroop, en cambio, imponen al sujeto otro tipo de tareas, como por ejemplo, decidir si la palabra y el color coinciden. Tradicionalmente estas tareas se han estudiado utilizando como variable dependiente el tiempo de reacción, observándose un incremento en el mismo cuando se presenta una incongruencia entre el color y la palabra (véase McLeod, 1991, para una revisión). En la revisión de las investigaciones en las que se registran ERPs y se trabaja con tareas Stroop o tipo Stroop, hemos detectado básicamente dos grupos: en el primero se engloban aquellos trabajos donde se reporta una onda tipo N400 cuando se produce interferencia entre la palabra y el color; en el segundo, se reúnen aquéllos en los que se trabaja con este tipo de tareas pero no se reporta una onda tipo N400.

Dentro del primer grupo encontramos, por ejemplo, el trabajo de Rebai et al. (1997). Se utiliza, en este caso, una tarea bastante similar a la tarea Stroop clásica, con la excepción de que en lugar de pedir a los sujetos que nombren verbalmente el color, lo que se les pide es que lo nombren mentalmente. El motivo de esta modificación respecto al trabajo original de Stroop es claro: el hecho de nombrar verbalmente el color provocaría muchos artefactos musculares que podrían confundir las ondas registradas. Respecto a los resultados obtenidos en esta investigación, destaca la aparición de una onda negativa con pico en los 434 ms ante la presentación de palabras escritas en un color incongruente con aquél que denotan; esta onda, además, presenta máximas diferencias en las regiones centro-

parietales. Por otra parte, esta negatividad no se manifestó ni ante las palabras congruentes ni al presentar una serie de signos. Rebai et al., en consecuencia, concluyen que su negatividad es muy similar al componente N400-semántico en su latencia, en su topografía y en el tipo de manipulación experimental que la provoca.

Existe otra investigación en la cual se combina una tarea de verificación de sentencias con una tarea tipo Stroop. Nos referimos al trabajo aportado por Katayama y Yagi (1992). Estos autores presentando sentencias del tipo *Rojo es azul*, donde se combina una palabra y una mancha de color en la posición de sujeto u objeto de la oración, encuentran lo siguiente: una onda tipo N400 se manifestó siempre que se producía una discrepancia entre la palabra y la mancha de color, siendo ésta independiente, tanto de la veracidad o falsedad de la sentencia, como del tipo de estímulo presentado (sea palabra sea mancha de color); además, esta onda presentó máxima amplitud en la localización central. La conclusión de estos autores va en la línea de la de los autores anteriores: un estímulo que se desvía del contexto semántico en virtud de sus características físicas también provoca el componente N400¹. De hecho, es obvio el paralelismo que existe entre esta investigación y otras, ya comentadas, sobre verificación de sentencias, en las cuales se reporta el componente N400-semántico (Fischler et al., 1983; Katayama, Miyata & Yagi, 1987; Kounios & Holcomb, 1992).

Si bien estas investigaciones sugieren que el componente N400 es un indicador de la incongruencia semántica amodal —esto es: independiente de la tipología del estímulo—, queremos destacar aquí que existen otras, en las que también se trabaja con tareas Stroop, donde no se reporta este componente. En concreto nos referimos a una serie de investigaciones en las que, bien no se comenta nada respecto a la aparición de una onda negativa ante las incongruencias entre la palabra y el color (Duncan-Johnson & Kopell, 1981), o bien no se habla de un N400 sino de una negatividad tardía (Lavoie, 1999; Liotti et al, 2000; West & Alain, 1999). En otro epígrafe hemos apuntado que hay investigaciones en las que no se expone nada respecto a la aparición de una negatividad tardía ante los estímulos

¹ Otra investigación (Kutas & Hillyard, 1980b) ha puesto de manifiesto que el componente N400 no aparece ante incongruencias de tipo físico. Los trabajos comentados en este capítulo revelan, sin embargo, que cuando las características físicas del estímulo llevan asociado un contenido semántico incongruente para el sujeto, una onda tipo N400 sí que aparece.

incongruentes, y que quizá esto sea así, no tanto porque ésta no aparezca sino porque no entraba en los objetivos de su estudio. El otro grupo de investigaciones despierta, sin embargo, la polémica: las incongruencias entre una palabra y un color ¿provocan un componente N400 o, por el contrario, producen una onda negativa lenta?

Liotti et al. (2000) discrepan de la conclusión de Rebai et al. respecto a que la negatividad que se observa ante las incongruencias entre una palabra y un color sea, en efecto, el componente N400. Trabajando con tres tipos de tareas —una en que los participantes tenían que nombrar verbalmente el color del estímulo presentado, otra en que lo debían nombrar internamente y una tercera donde habían de apretar el botón del color que le correspondía—, encuentran una onda negativa lenta con pico en los 410 ms siempre que se produce una incongruencia entre la palabra y el color. La única diferencia destacable entre los potenciales provocados por las tres tareas es su topografía: si la onda N410 fue fronto-central para la condición de respuesta abierta y encubierta, en la condición de respuesta mediante botones, en cambio, se presentó ampliamente distribuida. Encuentran, a su vez, una onda positiva tardía con pico entre los 600 y los 700 ms en los estímulos incongruentes para los tres tipos de tareas; este pico fue máximo en las localizaciones frontal y parietal del hemisferio izquierdo. Las conclusiones aportadas por West y Alain (1999) y Lavoie (1997) van en la línea de las anteriores: una negatividad sostenida y no el componente N400 se manifiesta ante las incongruencias entre una palabra y un color.

Es, justamente, la polémica anterior la que recogemos en nuestra investigación y a la cual pretendemos dar respuesta: la negatividad que aparece ante las incongruencias entre una palabra que denota color y el color en que está escrita ¿es o no es el componente N400? Para ello, era preciso identificar claramente las características definitorias del componente N400-clásico, a partir de las cuales podríamos determinar, más tarde, si las ondas obtenidas en nuestro experimento se correspondían o no con este componente. La revisión de distintos textos y artículos, así como los resultados que obtuvimos en nuestro anterior experimento, nos llevaron a establecer como identificadoras del N400 las siguientes características —respecto a las cuales parece que hay bastante acuerdo entre los investigadores (véase, Kutas & Van Petten, 1994 y Brown & Hagoort, 2000, entre otros)—: 1ª, su

efecto presenta máxima amplitud en torno a los 400 ms; 2ª, a diferencia de lo que hemos comentado sobre el componente P300 —cuya latencia varía en función del tiempo de evaluación del estímulo—, la latencia del N400 no es sensible a la dificultad de la tarea; 3ª, presenta una topografía centro-parietal.

Del párrafo anterior se desprende la necesidad de especificar con claridad la latencia y la topografía de las ondas reportadas en los experimentos, si lo que se pretende es identificar componentes. Hay que mencionar que algunas de las investigaciones a las que nos hemos referido anteriormente presentaban algunos problemas en este sentido. Entre aquéllas que reportan una onda tipo N400 en tareas Stroop vemos, por ejemplo, cómo Katayama y Yagi (1992) y Rebai et al. (1997) analizan en sus experimentos ventanas de latencia muy amplias y utilizan muy pocas localizaciones (véase la Tabla 3.2).

En nuestro experimento, utilizaremos distintos tipos de palabras escritas en colores diferentes, y la tarea impuesta a los participantes consistirá en decidir si la palabra y el color coinciden. Además de trabajar con incongruencias entre un color y una palabra que denota un color —igual que algunas de las investigaciones que hemos descrito—, utilizaremos otros tipos de incongruencias, a saber: incongruencia entre un color y una palabra que no denota color (por ejemplo, la palabra *remo* escrita en cualquier color); incongruencia entre un color y una pseudopalabra —éstas últimas estaban formadas por una serie de letras ordenadas de forma que parecían una palabra color, y siempre se presentaban escritas en el color al que evocaban (por ejemplo, *rooj* escrita en color rojo)—. Si el componente N400 es un índice del procesamiento semántico amodal —indicador del grado de incongruencia semántica— cabe esperar lo siguiente: 1º, no se manifestará cuando se produzca una congruencia entre una palabra que denota color y el color en que está escrita; 2º, no se observará en las pseudopalabras porque ante ellas no debería haber conflicto semántico; 3º, aparecerá siempre que presentemos una incongruencia semántica con cualquier tipo de palabra —sea palabra que denota color o palabra que no denota color—.

Finalmente, además de interesarnos en determinar si la negatividad que se ha asociado a la interferencia entre la palabra y el color es o no el componente N400, también hemos decidimos explorar el posible efecto que tendrá sobre los ERPs en

este tipo de tarea el hecho de emitir o no una respuesta motora. Nos importa especialmente analizar el efecto de esta variable en la ventana de latencia donde se espera que se manifieste el componente N400. Queremos, en definitiva, comprobar si el hecho de someter a los participantes a la tarea de presionar un botón para expresar su respuesta, afecta de algún modo a los potenciales que se dan en la ventana de los 250 a los 500 milisegundos —especialmente por lo que refiere a una posible interacción entre el tipo de estímulo presentado y la emisión o no de respuesta—.

6.2. MÉTODO

6.2.1. Sujetos

Los participantes en el experimento fueron 14 estudiantes universitarios —5 de ellos varones— de edades comprendidas entre 20 y 47 años (mediana = 24; media = 26; desviación estándar = 7.1). Todos eran castellano-parlantes, con visión normal o corregida, y sin problemas para percibir el color. Sólo uno de los participantes era zurdo.

6.2.2. Estímulos

El material seleccionado fue el siguiente: 1º, cuatro palabras que denotaban un color —ROJO, AZUL, VERDE y ORO— (a partir de ahora nos referiremos a ellas como *palabras-color*); 2º, cuatro palabras que no denotaban un color² —REMO, ARCA, VISTA y OCA— (a partir de ahora diremos *palabras-no-color*); 3º, cuatro pseudopalabras³ —ROOJ, ALUZ, VEDER y ORR—. Los dos primeros tipos de estímulos podían aparecer escritos con tinta de cuatro colores: roja, verde, azul o amarilla. Las pseudopalabras siempre aparecían escritas en el color al que se parecían. Finalmente presentamos cuatro tipos de estímulos:

² Compartían con las palabras-color las siguientes características: 1ª, tenían igual longitud; 2ª, comenzaban con la misma letra; 3ª, tenían frecuencia de uso similar.

³ Compartían con las palabras-color las siguientes características: 1ª, tenían igual longitud; 2ª, contenían las mismas letras.

1. Congruente: *Palabra-color* escrita en el mismo color que denota⁴.
2. Incongruente: *Palabra-color* escrita en un color distinto al que denota.
3. Incongruente: *Palabra-no-color*.
4. Incongruente: *Seudopalabra*.

La elaboración y presentación de los estímulos se realizó mediante el programa STIM 2.0. Todos ellos aparecían escritos en letra mayúscula de color amarillo, rojo, azul o verde sobre un fondo negro. Los ojos del sujeto estaban a una distancia de 70 cm del estímulo, formando un ángulo visual vertical de 1.23° y un promedio de 2.75° de ángulo horizontal.

6.2.3. Procedimiento

Durante el experimento los participantes estaban sentados en un sillón delante de la pantalla del ordenador. Se comenzaba con la colocación de los electrodos, continuábamos con una fase de entrenamiento y se finalizaba con la fase de registro. Esta última fase se dividía en dos sesiones.

En la fase de entrenamiento se mostró en la pantalla del ordenador una serie de estímulos iguales a los que se presentarían más adelante en la fase de registro. La tarea del sujeto era la siguiente: determinar si el estímulo presentado era congruente o incongruente con el color en que estaba escrito; para ello, debía apretar un botón del ratón si la palabra presentada era congruente con el color, y tenía que presionar el otro si la palabra era incongruente⁵. Se contrabalanceó el botón de respuesta para la congruencia y la incongruencia entre sujetos. En cuanto a la fase de entrenamiento se planteó de manera que no se pasara a la fase de registro hasta que se cumpliera uno de los siguientes criterios de aprendizaje: 1º, que el sujeto respondiera correctamente los 15 primeros ensayos consecutivos; 2º, a partir del ensayo número 16, que el sujeto diera un 90% de aciertos. Además, se

⁴ La palabra ORO se seleccionó en lugar de la palabra AMARILLO por considerar que esta última era excesivamente larga en comparación con los otros estímulos utilizados (nos referimos al resto de palabras-color, las palabras-no-color y lasseudopalabras). Dada la dificultad que podría suponer para los sujetos la identificación de la palabra ORO con el color amarillo, decidimos informarles de este hecho en las instrucciones, y, además, les hicimos superar un entrenamiento antes del registro. A nuestro juicio, de esta manera, quedaba suficientemente reforzada la asociación de ORO con amarillo.

⁵ Las incongruencias se daban en tres tipos de estímulos: 1º, palabras-color escritas en un color distinto de aquél que denotan; 2º, palabras-no-color; 3º,seudopalabras.

presentaba un mensaje de *respuesta equivocada* siempre que se emitía una respuesta incorrecta. Hubo, también, un descanso de 30 segundos cada 20 ensayos.

Una vez superada la fase de entrenamiento se pasaba a la de registro. En esta fase se decía a los sujetos que se relajaran y evitaran movimientos corporales; asimismo se les indicaba que debían evitar parpadear y que, en su caso, aprovecharan los intervalos de tiempo en que aparecía en pantalla un asterisco o los descansos para hacerlo. Esta fase se dividió en dos sesiones distintas, de una duración de 15 minutos cada una. La única diferencia entre ellas radicaba en las instrucciones concretas dadas a los sujetos: en una sesión debían apretar el botón izquierdo del ratón si la palabra presentada era incongruente con el color en que estaba escrita; en la otra, habían de presionar el mismo botón que en el caso anterior, pero, ahora, ante las congruencias. Se contrabalanceó el tipo de sesión a través de los sujetos, de manera que la mitad de ellos comenzaron por una sesión en la que debían responder a las congruencias, mientras que el resto comenzó por la sesión de respuesta a la incongruencia. La asignación de uno u otro orden fue aleatoria.

En cada sesión de registro, todo sujeto fue sometido un total de 256 ensayos distribuidos en 8 bloques de 32 ensayos. Los bloques constaban de un número igual de estímulos de cada tipo (congruente con palabra-color, incongruente con palabra-color, incongruente con palabra-no-color e incongruente con pseudopalabra); dentro de cada bloque los estímulos se presentaron aleatoriamente con la restricción de que no aparecieran más de dos de ellos iguales consecutivos. Se presentó un descanso de 30 segundos entre bloques. En total, si contamos las dos sesiones, cada participante pasó 64 ensayos de cada tipo.

La distribución de cada ensayo fue la siguiente: los estímulos se presentaron secuencialmente, permaneciendo en la pantalla durante 500 milisegundos. El intervalo entre estímulos era de 2000 ms. Como se indicó anteriormente, tras 8 ensayos aparecía en la pantalla un asterisco, el cual permanecía allí durante 5000 ms, con un intervalo hasta el siguiente ensayo de 2000 ms. Los dos intervalos anteriores abarcaban desde que el estímulo desaparecía hasta que se proyectaba el siguiente estímulo (*ISI*).

6.2.4. Adquisición de datos

La adquisición de datos fue exactamente igual que en el experimento anterior.

6.2.5. Análisis de datos

El análisis de datos se desarrolló en dos fases:

1ª. Análisis del tiempo de reacción y el ajuste en la respuesta. El análisis del tiempo de reacción sólo pudo realizarse con los ensayos en que se disponía de respuesta manifiesta por parte del sujeto. En primer lugar realizamos un ANOVA de medidas repetidas tomando como factor intrasujetos el *Tipo de estímulo* y como variable dependiente el *Tiempo de reacción*. Este análisis se completó con los correspondientes MANOVAs. En segundo lugar planteamos contrastes parciales utilizando la aproximación de Hochberg para controlar el incremento de la tasa de error tipo I (Keselman, 1998; Keselman, 2000). Definimos la variable *Tiempo de reacción* como la mediana⁶ de los tiempos de reacción para cada sujeto en cada uno de los tratamientos experimentales; sólo participaban en el cálculo aquellos ensayos en que el sujeto respondía correctamente y cuyos tiempos de reacción estaban comprendidos entre 100 y 1500 milisegundos⁷.

En cuanto a la variable *Número de errores*⁸ no se realizó el análisis en la condición de respuesta manifiesta puesto que en esta condición apenas se produjeron errores. No obstante, sí se analizó el *Número de errores* en la condición de no-respuesta. En este caso realizamos el análisis siguiendo el

⁶ Se utiliza la mediana de los tiempos de reacción porque es un índice de tendencia central más resistente a la presencia de valores extremos que la media aritmética.

⁷ Los ensayos con tiempos de reacción inferiores a 100 ms o superiores a 1500 ms se consideraron anticipaciones y lapsus, respectivamente (Malapeira, 1987).

⁸ En la condición de respuesta se contabilizaron como errores aquellos ensayos donde los participantes no respondían. En la condición de no-respuesta, por el contrario, se consideraron errores los ensayos donde los participantes presionaban el botón. Recordemos que la variable *Tipo de respuesta* se definía a partir de las dos sesiones de registro, una en que se respondía a las incongruencias —y no a las congruencias—, y otra en donde se respondía a las congruencias —y no a las incongruencias—. Así en la primera sesión se consideraban errores tanto las respuestas a las congruencias como las no respuestas a las incongruencias. Lo contrario ocurría en el segundo tipo de sesión, donde se tomaron como errores las no respuestas ante congruencias y las respuestas ante incongruencias.

procedimiento descrito en el experimento anterior —prueba de Friedman para analizar las diferencias entre las distribuciones de cada tipo de estímulo y prueba T de Wilcoxon para las comparaciones entre pares de tratamientos—.

2ª. Análisis de la respuesta psicofisiológica. Este análisis se llevó a cabo de la forma descrita en el experimento anterior. Sin embargo, en esta ocasión, tuvimos que eliminar los datos de dos de los participantes; en ambos casos, el motivo fue la presencia de excesivos movimientos oculares.

El análisis de los ERPs consistió en una serie de ANOVAs de medidas repetidas $4 \times 2 \times 7$ para las variables *Tipo de estímulo* (congruencia, incongruencia / palabra-color, incongruencia / palabra-no-color e incongruencia / pseudopalabra), *Tipo de respuesta* (con y sin respuesta) y *Localización* (Fz, Cz, Pz, C3, C4, P3 y P4). El procedimiento de análisis de datos fue el mismo que en el experimento anterior.

6.3. RESULTADOS

6.3.1. Análisis de las variables *Tiempo de reacción* y *Número de errores*

En la Tabla 6.1 mostramos la media y el error estándar de la variable *Tiempo de reacción* para cada tipo de estímulo.

El análisis de la varianza mostró la existencia de diferencias en el tiempo de reacción dependiendo del tipo de estímulo presentado, $F(3,33) = 20.42$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.65$. Los contrastes parciales que comparaban los estímulos incongruentes con palabra-color y los otros tres tipos de estímulos evidenciaron lo siguiente: por una parte, se obtuvieron diferencias significativas entre las incongruencias con palabra-color y con palabra-no-color, $F(1,11) = 145.35$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.93$, y entre las incongruencias con palabra-color y con pseudopalabras, $F(1,11) = 31.13$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.74$; por otra parte, respecto al contraste entre incongruencia-palabra-color y congruencia, las diferencias fueron parcialmente significativas, $F(1,11) = 6.26$, $p = 0.029$, $\eta^2 = 0.39$. Si bien en los dos primeros contrastes el

Tabla 6.1. Media (en ms) y error estándar de la variable *Tiempo de reacción* para cada tipo de estímulo.

	Congruencia	Incongruencia/ palabra-color	Incongruencia/ palabra-no-color	Incongruencia/ seudopalabra
Media	606	656	548	568
Error Estándar	17.63	18.48	16.05	22.64

Tabla 6.2. Media (en ms) y error estándar (entre paréntesis) de la variable *Número de errores* para cada tipo de estímulo en la condición de respuesta y de no-respuesta.

	Congruencia	Incongruencia/ palabra-color	Incongruencia/ palabra-no-color	Incongruencia/ seudopalabra
Respuesta	.25 (.17)	.58 (.14)	.41 (.22)	.16 (.16)
No respuesta	8.06 (1.47)	1.33 (.33)	.42 (.26)	1.08 (.42)

tamaño del efecto es grande, en este último, en cambio, es moderado —sólo el 39% de la varianza total puede atribuirse al tipo de estímulo presentado (en este caso, incongruencia-palabra-color y congruencia)—. En suma, se observa cómo el tiempo de reacción fue mayor al presentar incongruencias con palabras-color que al presentar palabras congruentes u otros tipos de incongruencia (palabras-no-color o pseudopalabras).

Con relación a la variable *Número de errores* ya hemos señalado anteriormente que en la condición de respuesta manifiesta apenas se produjeron errores, razón por la cual no se realizó el análisis de datos para esta condición. Por lo que se refiere a la condición de no-respuesta, se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar los cuatro tipos de estímulos, $\chi^2(3, N=12) = 19.62$, $p < 0.000$. Los contrastes parciales pusieron de manifiesto que el número de errores fue mayor para la condición de congruencia que para los otros tres tipos de estímulos: $Z = -2.99$, $p = 0.003$ al comparar congruencia e incongruencia-palabra-color; $Z = -2.93$, $p = 0.003$ al comparar congruencia con incongruencia-palabra-no-color; $Z = -2.93$, $p = 0.003$ al comparar congruencia e incongruencia-seudopalabra. En la Tabla 6.2 mostramos la media y el error estándar del *Número de errores* para cada tipo de estímulo.

6.3.2. Análisis de los ERPs

En las Figuras 6.1 y 6.2 se muestran los grandes promedios para cada tipo de estímulo en las condiciones de respuesta y no-respuesta (en la parte inferior se han representado las ondas diferencia). Porque nos interesa especialmente comparar las ondas que se manifiestan ante estímulos congruentes e incongruentes con palabra-color, presentamos también, en la Figura 6.3, los grandes promedios sólo para estas condiciones. Incluimos esta figura para facilitar la inspección visual de las diferencias entre estos dos tipos de estímulos.

En la Figura 6.1 —donde se muestran las ondas correspondientes a los cuatro tipos de estímulos en la condición de respuesta— no se observan diferencias en los ERPs hasta aproximadamente los 300 ms; a partir de esta latencia, destaca, sin embargo, una mayor negatividad ante los estímulos incongruentes con palabra color, negatividad que se prolonga hasta alrededor de los 600 ms. Por otra parte, en este mismo intervalo, la amplitud para los otros tres tipos de estímulos —congruencia, incongruencia con palabra-no-color e incongruencia con pseudopalabra— es muy similar. Además, de los 600 ms en adelante, no parece haber diferencias remarcables en el voltaje de los distintos tipos de estímulos.

En cuanto al patrón de ERPs observado en la condición de no-respuesta (Figura 6.2) destaca principalmente lo siguiente: 1) una mayor negatividad entre los 300 y los 500 ms se muestra, de nuevo, ante los estímulos incongruentes con palabra-color; 2) un pico positivo tardío se manifiesta para los estímulos congruentes a partir de los 500 milisegundos.

6.3.2.1. N400

Nuestro primer objetivo fue estudiar la posible manifestación del componente N400. A tal fin, tomamos el intervalo comprendido entre los 250 y los 500 ms y lo dividimos en ventanas de 50 milisegundos. Trabajamos, concretamente, con las siguientes ventanas: 250-300, 300-350, 350-400, 400-450 y 450-500 milisegundos. Una vez dividida la onda, calculamos la amplitud promedio en cada ventana, y éste fue el dato que sometimos a análisis. En las Tablas 6.3 y 6.4

detallamos los resultados de los ANOVAs para las distintas fuentes de variación analizadas —efectos principales e interactivos—.

El efecto principal de la variable *Tipo de estímulo* resultó estadísticamente significativo en todas las ventanas analizadas: $F(3,33) = 4.82$, $p = 0.007$, $\eta^2 = 0.30$, para la ventana 250-300; $F(3,33) = 3.19$, $p = 0.036$, $\eta^2 = 0.22$, para la ventana 300-350; $F(3,33) = 5.83$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.35$, para la ventana 350-400; $F(3,33) = 5.91$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.35$, para la ventana 400-450; y, $F(3,33) = 5.77$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.34$, para la ventana 450-500. Los contrastes parciales realizados en la primera ventana —250 a 300 ms— pusieron de manifiesto lo siguiente: aunque no hubo diferencias en el voltaje entre la condición de incongruencia con palabra-color y los otros tres tipos de estímulos, sí se encontraron diferencias al comparar, por un lado, la incongruencia con palabra-no-color y la congruencia, $F(1,11) = 11.37$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.51$, y, por otro, las incongruencias con palabra-no-color y con seudopalabra, $F(1,11) = 9.91$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.47$. En definitiva, los resultados indican que, en la ventana de 250-300 ms, los estímulos congruentes y los incongruentes con seudopalabra provocan un voltaje más positivo que aquellos incongruentes con palabras-no-color.

Las ventanas comprendidas entre los 300 y los 500 ms no mostraron el mismo patrón de voltaje, para los distintos tipos de estímulos, al encontrado en la primera ventana analizada. En efecto, en este caso se observan diferencias al comparar, por una parte, las congruencias y las incongruencias con palabra-color, y, por otra, estas últimas con las incongruencias con seudopalabra. Para el primer contraste los resultados obtenidos son los que siguen: $F(1,11) = 9.78$, $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.47$, para la ventana 300-350; $F(1,11) = 8.58$, $p = 0.014$, $\eta^2 = 0.44$, para la ventana 350-400; $F(1,11) = 11.31$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.51$, para la ventana 400-450; $F(1,11) = 17.52$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.61$, para la ventana 450-500. Respecto del segundo contraste, los resultados son éstos: $F(1,11) = 6.11$, $p = 0.031$, $\eta^2 = 0.36$, para la ventana 300-350; $F(1,11) = 19.72$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.64$, para la ventana 350-400; $F(1,11) = 20.91$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.65$, para la ventana 400-450; $F(1,11) = 22.35$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.67$, para la ventana 450-500. En resumen, en el intervalo comprendido entre los 300 y los 500 ms, las incongruencias con palabra-color manifestaron un voltaje más negativo que el obtenido ante las congruencias y las incongruencias con seudopalabra. Por otra parte, si bien no se encontraron



Figura 6.1. *Arriba:* Grandes promedios para los distintos tipos de estímulos en la condición de respuesta manifiesta.

Abajo: Ondas diferencia para la condición de respuesta manifiesta. Se calcularon restando de los ERPs registrados en la condición de congruencia aquellos registrados en cada uno de los otros tres tipos de estímulo.



Figura 6.2. *Arriba:* Grandes promedios para los distintos tipos de estímulos en la condición de no-respuesta
Abajo: Ondas diferencia para la condición de no-respuesta. Se calcularon restando de los ERPs registrados en la condición de congruencia aquellos registrados en cada uno de los otros tres tipos de estímulo.

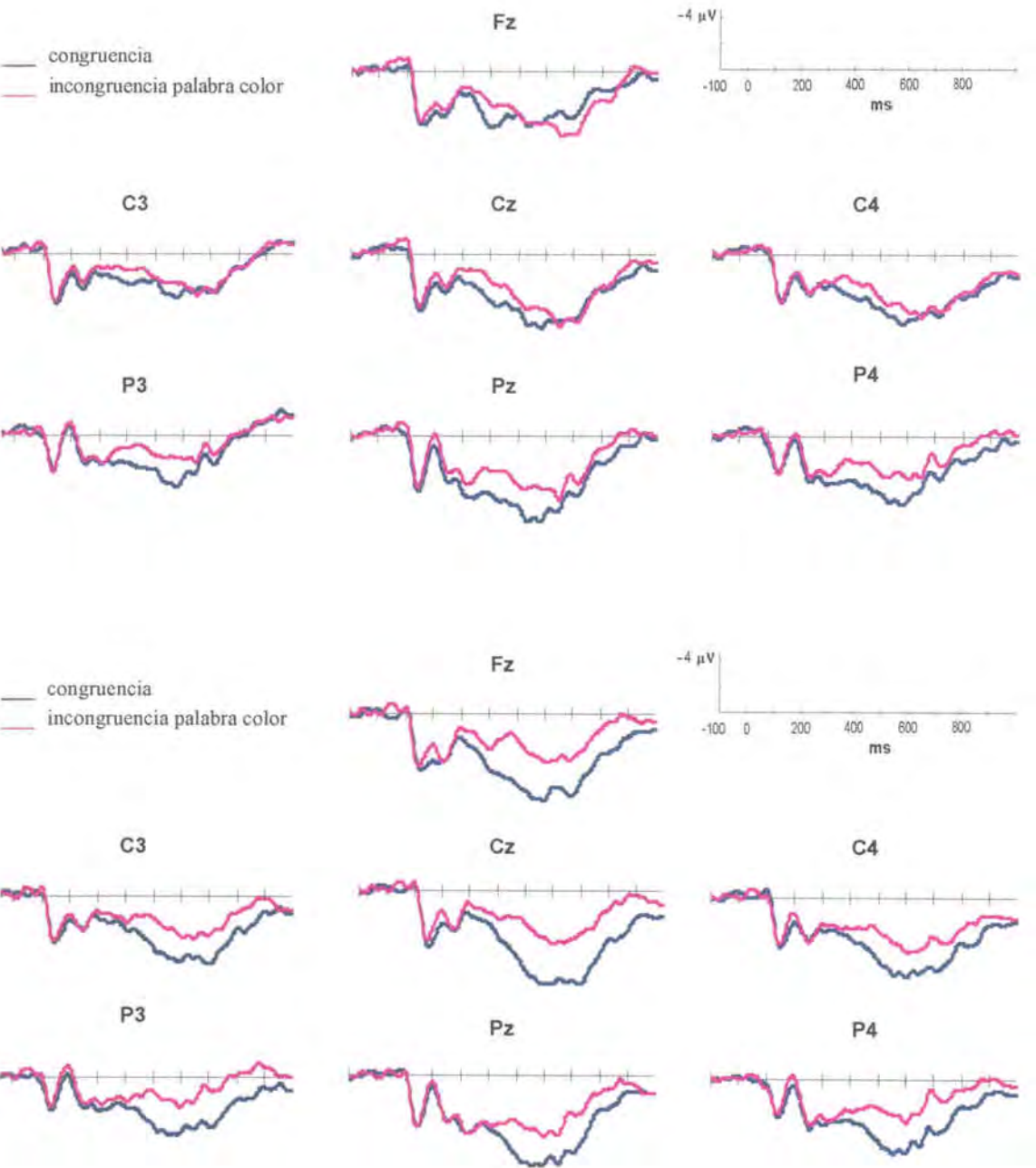


Figura 6.3. *Arriba:* Grandes promedios para los estímulos congruentes e incongruentes con palabra-color en la condición de respuesta manifiesta.

Abajo: Grandes promedios para los estímulos congruentes e incongruentes con palabra-color en la condición de no-respuesta.

Tabla 6.3. Resultados del ANOVA para los efectos *Tipo de estímulo*, *Tipo de respuesta* y *Tipo de estímulo x Tipo de respuesta*.

Tiempo (ms)	Tipo de estímulo			Tipo de respuesta			Estímulo x Respuesta		
	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
250-300	4.826 ^a	.007 ^{**}	.305	.228 ^a	.642	.020	.121 ^a	.947	.011
300-350	3.191 ^a	.036 [*]	.225	.000 ^a	.991	.000	.069 ^a	.976	.006
350-400	5.835 ^a	.003 ^{**}	.347	.080 ^a	.782	.007	.521 ^b	.562	.045
400-450	5.914 ^a	.002 ^{**}	.350	.820 ^a	.384	.069	.200 ^b	.738	.018
450-500	5.771 ^a	.003 ^{**}	.344	.036 ^a	.853	.003	1.371 ^b	.274	.111
500-600	8.492 ^a	.000 ^{***}	.436	.015 ^a	.906	.001	3.210 ^a	.036 [*]	.226
600-700	21.531 ^a	.000 ^{***}	.662	.001 ^a	.977	.000	3.891 ^a	.017 [*]	.261
700-800	13.601 ^a	.000 ^{***}	.553	.106 ^a	.751	.010	5.512 ^a	.004 ^{**}	.334

^a esfericidad asumida; ^b corrección de Greenhouse-Geisser.

^{*} .05 $\geq p > .01$; ^{**} .01 $\geq p > .001$; ^{***} $p \leq .001$

Tabla 6.4. Resultados del ANOVA para los efectos interactivos en que se incluye el factor *Localización*.

Tiempo (ms)	Estímulo x Localización			Respuesta x Localización			Estímulo x Respuesta x Localiza		
	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
250-300	2.229 ^b	.066	.169	.879 ^b	.441	.074	.572 ^b	.643	.049
300-350	2.120 ^b	.091	.162	3.865 ^b	.024 [*]	.260	1.690 ^b	.158	.133
350-400	1.169 ^b	.338	.096	6.340 ^b	.002 ^{**}	.366	1.308 ^b	.269	.106
400-450	1.654 ^b	.163	.131	3.207 ^a	.008 ^{**}	.226	1.604 ^b	.200	.127
450-500	2.170 ^b	.086	.165	5.491 ^a	.000 ^{***}	.333	2.377 ^b	.068	.178
500-600	2.836 ^b	.023 [*]	.205	3.556 ^a	.004 ^{**}	.244	2.435 ^b	.062	.181
600-700	3.255 ^b	.009 ^{**}	.228	2.478 ^b	.082	.184	2.573 ^b	.059	.190
700-800	1.914 ^b	.092	.148	3.513 ^b	.029 [*]	.242	2.250 ^b	.067	.170

^a esfericidad asumida; ^b corrección de Greenhouse-Geisser.

^{*} .05 $\geq p > .01$; ^{**} .01 $\geq p > .001$; ^{***} $p \leq .001$

Tabla 6.5. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) para cada tipo de estímulo en todas las ventanas analizadas.

	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500	500-600	600-700	700-800
Congruencia	3.43 (1.05)	3.56 (1.24)	3.81 (1.34)	4.63 (1.23)	5.24 (1.17)	6.71 (1.07)	6.22 (.82)	4.63 (.49)
Incongruencia/ palabra-color	3.00 (1.00)	2.77 (1.10)	2.64 (1.02)	2.86 (.88)	2.90 (.99)	3.82 (1.44)	4.42 (.85)	3.08 (.050)
Incongruencia/ palabra-no-color	2.34 (1.00)	3.11 (1.31)	3.73 (1.22)	4.10 (1.08)	4.30 (1.31)	4.05 (.87)	2.65 (.56)	2.06 (.52)
Incongruencia/ seudopalabra	3.32 (.84)	3.51 (1.15)	4.32 (1.31)	5.15 (1.10)	5.25 (1.15)	4.97 (1.14)	3.70 (.91)	3.05 (.50)

Tabla 6.6. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) obtenidos en las ventanas 500-600, 600-700 y 700-800, para los distintos tipos de estímulos en las condiciones de respuesta y no-respuesta.

	500-600			600-700			700-800		
	Resp.	No-Resp.	Dif.	Resp.	No-Resp.	Dif.	Resp.	No-Resp.	Dif.
Congruencia	5.98 (1.10)	7.44 (1.17)	-1.47	5.26 (1.02)	7.20 (0.84)	-1.94	3.61 (.81)	5.66 (.51)	-2.05
Incongruencia/ palabra-color	3.83 (1.45)	3.83 (1.45)	.00	4.70 (.85)	4.15 (1.11)	.55	3.47 (.51)	2.70 (.71)	.77
Incongruencia/ palabra-no-color	4.37 (.99)	3.75 (.87)	.62	2.90 (.73)	2.41 (0.58)	.48	2.15 (.74)	1.97 (.47)	.18
Incongruencia/ seudopalabra	5.48 (1.08)	4.46 (1.32)	1.02	4.20 (.91)	3.22 (0.98)	.98	3.22 (.61)	2.88 (.60)	.35

Nota: Resp. = respuesta; No-Resp. = no-respuesta; Dif. = diferencia (en μV).

diferencias entre las incongruencias con palabra-no-color y los otros tres tipos de estímulos, aquéllas sí mostraron, en cambio, un voltaje intermedio entre las incongruencias con palabra-color y las congruencias y seudopalabras: en definitiva, las incongruencias con palabra-no-color presentaron una amplitud más positiva que las incongruencias con palabra-color, y más negativa que las palabras congruentes y las seudopalabras. En la Tabla 6.5 presentamos el voltaje promedio para cada tipo de estímulo en todas las ventanas analizadas.

Por lo que se refiere a los efectos interactivos que incluyen el factor *Localización*, no se encontraron diferencias para interacción *Tipo de estímulo* x *Localización*, aunque sí aparecen en *Tipo de Respuesta* x *Localización*. Concretamente, se observan diferencias en las ventanas 300-350, 350-400, 400-450 y 450-500: $F(6,66) = 3.86$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.37$ para la primera ventana; $F(6,66) = 6.34$, $p = 0.002$, $\varepsilon = 0.46$, $\eta^2 = 0.37$ para la segunda; $F(6,66) = 3.21$, $p = 0.008$, $\eta^2 = 0.23$ para la tercera; $F(6,66) = 5.49$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.33$ para la cuarta. Aunque el análisis de los efectos simples no detectó diferencias en las ventanas comprendidas entre los 300 y los 400 ms, sí las mostró para las otras dos ventanas analizadas: en ambos casos el voltaje fue más positivo en la condición de no-respuesta que en la de respuesta para la localización C4; no hubo diferencias en las otras localizaciones.

6.3.2.2. P600

Con objeto de estudiar la posible manifestación del componente P600 trabajamos con el intervalo del registro de EEG comprendido entre los 500 y los 800 milisegundos. Dividimos este intervalo en tres ventanas de 100 ms de duración —concretamente, la de 500-600, la de 600-700 y la de 700-800 ms—, y, después, calculamos la amplitud promedio para cada una de ellas. Éste fue el dato que se sometió al análisis. En las Tablas 6.3 y 6.4 detallamos los resultados de los ANOVAS para las distintas fuentes de variación analizadas —efectos principales e interactivos—.

Caben destacar las diferencias que se encontraron para las tres ventanas analizadas en función del tipo de estímulo presentado —efecto principal de la variable *Tipo de estímulo*—: $F(3,33) = 8.49$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.44$ para la ventana 500-600; $F(3,33) = 21.53$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.66$ para la ventana 600-700; y, $F(3,33) = 13.6$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.55$ para la ventana 700-800. Los contrastes parciales pusieron de manifiesto que el patrón de voltaje para los distintos tipos de estímulo era similar en las ventanas comprendidas entre los 600 y los 800 ms, en cambio, era distinto para la ventana de 500 a 600. Respecto de las primeras, observamos: 1) diferencias entre la congruencia y la incongruencia con palabra-color: $F(1,11) = 30.25$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.73$, para la ventana 600-700, y $F(1,11) = 12.68$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.54$, para la ventana 700-800; 2) diferencias entre las incongruencias con palabra-color y con palabra-no-color: $F(1,11) = 14.72$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.57$, para la ventana 600-700, y $F(1,11) = 5.57$, $p = 0.038$, $\eta^2 = 0.34$, para la ventana 700-800. En suma, en el intervalo comprendido entre los 600 y los 800 ms se observa cómo las incongruencias con palabra-color presentan una amplitud más negativa que la que se manifiesta en la congruencia, pero más positiva que la provocada por las incongruencias con palabra-no-color. En relación con la ventana de 500 a 600 ms, las incongruencias con palabra-color sólo se diferenciaban de las palabras congruentes, siendo el voltaje de estas últimas más positivo: $F(1,11) = 18.88$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.63$. Además, también se encontraron diferencias entre los estímulos congruentes y los otros dos tipos de incongruencia, las cuales presentaron un voltaje parecido al observado para las incongruencias con palabra-color. Resultados similares se han encontrado en el intervalo de los 300 a los 500 milisegundos. En la Tabla 6.5 se muestran la media y el error estándar

correspondiente a la amplitud para cada tipo de estímulo en todas las ventanas analizadas.

La interacción *Tipo de estímulo* x *Tipo de respuesta* mostró diferencias estadísticamente significativas en las tres ventanas analizadas: $F(3,33) = 3.21$, $p = 0.036$, $\eta^2 = 0.27$, para la ventana 500-600; $F(3,33) = 3.89$, $p = 0.017$, $\eta^2 = 0.26$, para la ventana 600-700; $F(3,33) = 5.51$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.33$, para la ventana 700-800. Más tarde se llevó a cabo un análisis de los efectos simples a fin de determinar qué tipo de estímulo, en concreto, mostraba un voltaje diferencial dependiendo del tipo de respuesta. Encontramos diferencias en amplitud sólo para los estímulos congruentes. Los resultados indican, en definitiva, que para el intervalo comprendido entre los 500 y los 800 ms, el voltaje es más positivo en la condición de no-respuesta que en la de respuesta cuando se presenta una palabra congruente con el color en que está escrita. En la Tabla 6.6 se muestran los promedios para cada condición experimental en las ventanas correspondientes a este intervalo.

Por lo que se refiere a los efectos interactivos que incluyen el factor *Localización* se encontraron diferencias para la interacción *Tipo de estímulo* x *Localización* y *Tipo de respuesta* x *Localización*. En el primer caso, las diferencias fueron estadísticamente significativas en las ventanas de 500-600 y 600-700: $F(18,158) = 2.83$, $p = 0.023$, $\varepsilon = 0.28$, $\eta^2 = 0.21$ para la primera ventana; $F(18,158) = 3.25$, $p = 0.029$, $\varepsilon = 0.31$, $\eta^2 = 0.23$ para la segunda. En la primera ventana, el análisis de los efectos simples puso de manifiesto que las diferencias entre congruencia e incongruencia con palabra-color se encontraban en todas las localizaciones excepto en C3; las diferencias entre congruencia e incongruencia con seudopalabra aparecían en C4, P4, Cz, Fz y Pz; finalmente, las diferencias entre congruencia e incongruencia con palabra-no-color se obtuvieron en P3, P4, Cz, Fz y Pz. Con respecto a la ventana de 600-700, el análisis de los efectos simples evidenció que mientras que las diferencias entre congruencia y los otros tres tipos de incongruencia se observaban en todas las localizaciones, las diferencias entre incongruencia con palabra-color y con seudopalabra, en cambio, sólo se encontraron en las localizaciones Cz, Fz y Pz.

Por otra parte, la interacción *Tipo de respuesta* x *Localización* alcanzó significación estadística en las ventanas de 500-600 y 700-800: $F(6,66) = 3.55$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.24$ para la primera ventana; $F(6,66) = 3.51$, $p = 0.029$, $\varepsilon = 0.47$, $\eta^2 = 0.24$ para la segunda. No obstante, el análisis de los efectos simples no mostró diferencias estadísticamente significativas para el tipo de respuesta en ninguna localización.

6.4. DISCUSIÓN

Nuestros resultados ponen de manifiesto un claro efecto de la interferencia entre la palabra y el color tanto en lo que se refiere al tiempo de reacción como respecto a la respuesta psicofisiológica. En cuanto al primero, se observa un incremento en el tiempo de respuesta al presentar incongruencias entre una palabra que denota un color y el color en que está escrita, confirmando los resultados aportados por investigaciones previas. En relación con el registro psicofisiológico, nuestro experimento reproduce los resultados obtenidos por Lavoie (1999), Liotti et al. (2000) y West y Alain (1999), quienes al presentar incongruencias entre una palabra y un color, lejos de encontrar el componente N400, obtienen, en cambio, una negatividad sostenida. En efecto, hemos descubierto una onda de este tipo ante los estímulos incongruentes con palabra color, onda que se inicia en los 300 ms y se prolonga hasta los 600. Este tipo de estímulos difirió en amplitud respecto a las palabras congruentes, las cuales mostraron un voltaje más positivo. Aunque a la luz de estos resultados pudiera existir la tentación de hacer una analogía entre la onda que hemos reportado y el componente N400, existen, por el contrario, algunos argumentos que nos obligan a diferenciarlas. Nos referimos, en concreto, a ciertas características del N400-semántico —comentadas en la introducción— que no concuerdan con aquéllas obtenidas en nuestro registro.

El primer aspecto definitorio del componente N400-semántico es su latencia. En este sentido, hay bastante acuerdo entre los investigadores en cuanto al hecho de que presenta máxima amplitud en torno a los 400. La negatividad que hemos obtenido ante las incongruencias con palabra-color se empieza a diferenciar de los potenciales obtenidos en las palabras congruentes a los 300 ms, y estas diferencias se prolongan hasta los 600 ms. Además, las máximas diferencias entre uno y otro

tipo de estímulo se obtienen en la ventana de 450-500⁹. En este sentido, la negatividad que hemos obtenido discrepa del componente N400: dado que existe bastante consenso respecto a que la latencia del N400 no varía en función de la manipulación experimental ejercida, no cabe, en este caso, la justificación acerca de que se trate de un N400 demorado. A esto hay que añadir una segunda discrepancia entre la negatividad que hemos obtenido y el componente N400: su topografía. En efecto, si la topografía del N400 es centro-parietal, nuestra negatividad está ampliamente distribuida —el análisis de la interacción *Tipo de estímulo* x *Localización* sólo alcanzó significación estadística en las ventanas que comprendían el intervalo de los 500 y los 700 ms: en la ventana 500-600 hubo diferencias estadísticamente significativas al comparar los estímulos congruentes con los incongruentes con palabra-color en todas las localizaciones excepto C3, mientras que en la ventana 600-700 se encontraron diferencias entre ambos tipos de estímulos en todas las localizaciones—.

Por lo que refiere a las seudopalabras y a las palabras-no-color, nuestros resultados no han confirmado completamente nuestras predicciones. Respecto a las primeras, se había planteado como hipótesis que el componente N400 no debería evidenciarse ante las seudopalabras, puesto que ante ellas no tendría que producirse incongruencia semántica de ningún tipo. En efecto, ante este tipo de estímulos, no hubo señal del componente N400 y, además, se observó que su voltaje difería entre los 300 y los 500 ms de aquél provocado por las incongruencias con palabra color —voltaje más positivo para las seudopalabras—. En cuanto a las palabras no-color, aunque esperábamos que el componente N400 se manifestara al producirse una incongruencia entre la palabra y el color, vimos que este componente no aparecía. Además, no hubo diferencias estadísticamente significativas en el intervalo comprendido entre los 300 y los 500 ms al comparar este tipo de estímulo con los otros tres, si bien presentaba un voltaje intermedio entre las incongruencias con palabra color y los otros dos tipos de estímulos.

⁹ Si bien en la Tabla 6.5 vemos que las máximas diferencias entre estímulos congruentes e incongruentes con palabra-color se encuentran en la ventana de 500-600 ms, cabe recordar que en esta ventana la interacción entre *Tipo de estímulo* y *Tipo de respuesta* resultó significativa —mayor positividad para las palabras congruentes en la condición de no-respuesta que en la de respuesta—; puesto que las diferencias en esta ventana —entre estímulos congruentes e incongruentes con palabra-color— podrían ser el producto de un efecto de confundido con la variable *Tipo de respuesta*, creemos oportuno el comentario que hacemos respecto a que las máximas diferencias entre ambos tipos de palabras se dan en la ventana anterior (450-500).

En resumen, aun pudiéndose pensar que la negatividad provocada por las incongruencias con palabra-color es, en efecto, el componente N400, creemos que hay suficientes argumentos en contra de esta afirmación. Se trata, en concreto, de discrepancias existentes entre las dos negatividades con relación a aquellos aspectos que tradicionalmente se han vinculado a la definición de un componente (Donchin, Ritter y McCallum, 1978): latencia, topografía y sensibilidad a un tipo concreto de manipulación experimental.

Por lo que refiere a las conclusiones aportadas Rebai et al. (1997) —comentadas en la introducción de este capítulo—, nuestros resultados están parcialmente de acuerdo con las mismas. Recordemos que estos autores sólo trabajaron con palabras-color y series de signos; no utilizaron, sin embargo, incongruencias con palabra-no-color. Nuestros resultados coinciden con los suyos en el sentido de encontrar una mayor negatividad para incongruencias con palabra-color. Por lo que respecta a las seudopalabras, en nuestro caso no se encontró ninguna diferencia en amplitud al compararlas con las congruencia, no obstante, este resultado no es comparable con el suyo puesto que en su caso utilizaron como estímulos no-palabras. El único punto en que discrepamos con estos autores es en cuanto a su conclusión de llamar a esta negatividad *onda tipo-N400*. Las razones ya han sido comentadas. El hecho de que nosotros hayamos realizado un análisis más detallado de las ondas, nos aporta información adicional —no disponible en el artículo de Rebai et al.— que nos permite diferenciar los dos tipos de potenciales.

Finalmente, por lo que se refiere al efecto que tuvo la emisión o no de respuesta motora sobre el patrón de ERPs vemos cómo esta variable no afectó a las ventanas comprendidas entre los 250 y los 500 ms. Este resultado indica que la tarea impuesta a los sujetos de emitir una respuesta motora no afecta a los potenciales que se manifiestan en la ventana correspondiente al componente N400. Por otra parte, la emisión de respuesta motora sí que afectó a los potenciales dentro del intervalo que abarca de los 500 y los 800 ms. En relación con esto cabe destacar que cuando los participantes no tenían que emitir una respuesta motora se obtuvo un voltaje más positivo ante los estímulos congruentes que ante los otros tres tipos de estímulos. Si bien en un principio se nos ocurrió que tal vez se tratara del componente P300 manifestándose ante estímulos improbables —el 25% de los

ensayos eran palabras congruentes— pronto comprendimos que esto no era así, puesto que si así fuera, también debería haberse observado en la condición de respuesta —en donde también se presentó un 25% de estímulos congruentes—. Fue el análisis de la variable *Número de errores* la que nos ofreció información adicional para justificar este resultado. Recordemos que, en general, se produjeron pocos errores en la condición de respuesta (la mayoría de los participantes no cometía ningún error), sin embargo, en la condición de no-respuesta se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar el número de errores que ocurría ante cada tipo de estímulo. Concretamente, vimos que se originaban más respuestas erróneas ante los estímulos congruentes que ante los otros tres tipos de estímulos. El incremento en el número de errores que se observó ante los estímulos congruentes en la condición de no-respuesta nos indica que este tipo de estímulos en esta condición, por algún motivo, resultaba más difícil de discriminar. En otras palabras, era más difícil detectar un estímulo congruente cuando el estímulo objetivo era la incongruencia que cuando la tarea consistía en responder a las congruencias. En definitiva, consideramos que la dificultad de la tarea podría justificar la aparición de la onda positiva tardía ante las congruencias en la condición de no-respuesta.

7. TERCER EXPERIMENTO: VERIFICACIÓN DE SENTENCIAS

7.1. INTRODUCCIÓN

Este experimento se sitúa en el ámbito de trabajos referidos a la verificación de sentencias. Nos ha interesado el tema por la disparidad de resultados que existe en las distintas investigaciones que se han realizado al respecto. El problema que se plantea es, brevemente, el que sigue: ¿es el componente N400 un indicador del grado de falsedad de la sentencia o es, simplemente, un indicador del procesamiento semántico? En el primer caso se considera que el componente N400 es un indicador de discordancia entre la información que posee un individuo y la que, en efecto, se le presenta; en el segundo, el componente N400 se definiría como un indicador de incongruencia semántica desde el punto de vista estrictamente lingüístico, es decir, que este componente aparecería al detectar una palabra que se desvía de un campo semántico previamente activado. Ya hemos comentado que son varias las investigaciones que se han interesado en este tema y que se han obtenido resultados muy dispares. Vemos, por una parte, que Fischler et al. (1984, 1985, 1987) reportan una onda negativa en el rango de los 400 ms al presentar sentencias falsas, negatividad que no se manifiesta si la sentencia es verdadera. Vemos, por otra parte, los resultados obtenidos por Fischler et al. (1983), Katayama et al. (1987), Kounios y Holcomb (1992) y Pollina y Squires (1998) quienes sostienen que no hay diferencias en el voltaje de los potenciales en el rango del N400 al comparar sentencias verdaderas y falsas: afirman que el componente N400 es sensible a las características semánticas de las palabras en

una tarea de verificación de sentencias, pero no a la veracidad o falsedad de la misma. En fin, la ausencia de acuerdo que parece haber entre ambos grupos de investigaciones despertó nuestro interés y nos llevó a profundizar en los detalles de cada una de ellas a fin de poder localizar algún aspecto que explicara estas diferencias.

Fischler et al. (1983), por un lado, y Kounios y Holcomb (1992), por otro, trabajaron con un tipo de tarea similar. En ambos casos se presentaron sentencias que ponían en relación dos palabras —una definía una categoría semántica, otra definía un ejemplar de una categoría—, pidiéndose a los participantes que al finalizar la sentencia indicaran si ésta era verdadera o falsa. La diferencia principal entre estas investigaciones era la siguiente: mientras que Fischler utilizó sentencias del tipo *A robin is a bird*, que podían ser verdaderas o falsas y afirmativas o negativas, Kounios y Holcomb, por el contrario, sólo trabajaron con sentencias afirmativas, pero manipularon el cuantificador adverbial para convertir una sentencia en verdadera o falsa —por ejemplo: *All dogs are animals, Some dogs are animals, No dogs are animals*¹—. Los resultados obtenidos por ambas investigaciones coinciden al encontrar una onda negativa en el rango de los 400 ms siempre que se produce una incongruencia semántica entre el sujeto y el objeto directo de la oración, negatividad que no parece sensible a la veracidad o falsedad de la sentencia. Esto parece indicar que el componente N400, más que ser un indicador de la falsedad de la sentencia, refleja algún mecanismo relacionado con la ausencia de relación semántica entre el sujeto y el predicado de la oración. Además, la negatividad registrada por Kounios y Holcomb ante las incongruencias semánticas presentó máximas diferencias en las localizaciones centrales y parietales y en el hemisferio derecho, coincidiendo en este punto con el componente N400 semántico clásico. En cuanto a la distribución topográfica de la onda negativa reportada por Fischler, no presenta una clara topografía, aunque hay que matizar que sólo se registró la actividad eléctrica cerebral en F3, F4, C3, C4 y Cz, no incluyéndose localizaciones parietales. En otro lugar, Katayama et al. (1987) reproducen el experimento de Fischler, pero presentando los estímulos escritos en japonés, y llegan a conclusiones similares; no obstante, de nuevo, encontramos limitaciones en

¹ Para una descripción más detallada del procedimiento seguido por Fischler et al. y Kounios y Holcomb véase el capítulo 3 de esta tesis.

cuanto a la interpretación de las diferencias topográficas puesto que sólo se trabajó con Fz, Cz, Pz y Oz.

Existe otro trabajo que llega a conclusiones que lo sitúan en la línea de las investigaciones anteriores, pero que, a diferencia de éstas, no opera en el campo de la categorización semántica. En efecto, Pollina y Squires (1998) utilizan en sus sesiones material aprendido en el laboratorio —referente a la comisión de un delito— en el que manipulan el grado de veracidad de la sentencia mediante la utilización de tres tipos de información: probablemente verdadera, posiblemente verdadera y probablemente falsa (ordenadas de menor a mayor falsedad). No encuentran diferencias entre los tres tipos de sentencias en el rango correspondiente al componente N400, por lo que concluyen que este componente no refleja la veracidad lógica de una sentencia.

No obstante, hay otro grupo de investigaciones que parece contradecir todo lo dicho en los párrafos anteriores. Nos referimos a los trabajos publicados por Fischler y sus colaboradores en los años 1984, 1985 y 1987. En el primero aparece una onda, que denominan N340, al presentar sentencias falsas respecto a datos personales de los participantes en el experimento. Esta negatividad muestra máxima amplitud en los casos en que la sentencia recoge información muy familiar para los sujetos (*My name is Ira*) y menor amplitud en los que la información es menos familiar (*I go to bed late*). En el segundo trabajo, observan una onda, que denominan N320, la cual se manifiesta también ante sentencias falsas, aunque en este caso las sentencias no recogen datos personales sino información aprendida en el laboratorio expresamente para el experimento —se trata, en concreto, de sentencias que ponen en relación el nombre de una persona con una profesión—. Finalmente, en el tercer trabajo se utilizan sentencias del tipo *My name is X*, donde X puede ser el nombre propio de la persona, un nombre falso o un nombre asumido. Se pedía a los sujetos que ante la presentación de las sentencias asumieran como propio un nombre falso y rechazaran como falso cualquier otro nombre que se presentara —incluido su verdadero nombre—. En este caso, encuentran una onda, que denominan N380, de máxima amplitud para el nombre falso y de amplitud intermedia para el nombre verdadero. Todas estas investigaciones asocian, en definitiva, una negatividad tipo N400 ante la presentación de una información que completa una sentencia con datos falsos; de alguna manera esta negatividad podría

ser un indicador de la discrepancia que se produce cuando se presenta una información que contradice aquélla que ha preparado un individuo en función del contexto precedente.

Dadas las discrepancias existentes entre las distintas investigaciones —en una onda tipo N400 se asocia a la falsedad de la sentencia (Fischler et al. 1984; 1985; 1987) y otras vinculan este componente a la relación semántica entre el sujeto y el predicado de una oración (Fischler et al., 1983; Katayama et al., 1987; Kounios y Holcomb, 1992)— nos interesó estudiar si la negatividad obtenida ante las sentencias falsas era o no el componente N400-clásico. De hecho, los resultados obtenidos por Fischler et al. (1984, 1985 y 1987) no son contradictorios con los obtenidos en los trabajos de N400-semántico puesto que, en definitiva, tanto en unos como en otros se produce una negatividad en el rango de los 400 ms ante las discordancias entre la información presentada y la información esperada. No obstante, existen diferencias entre ambas ondas negativas. Primera: en las investigaciones de Fischler las incongruencias se producen respecto a eventos referentes a la experiencia personal del sujeto —información autobiográfica o aprendida expresamente para el experimento—, y no respecto de información libre de contexto como tradicionalmente se ha estudiado el N400² —categorías semánticas, sentencias que recogen información general, etcétera—. Segunda: la negatividad asociada a sentencias falsas presenta una latencia un poco más temprana que el N400. Tercera: la topografía del N400 es centro-parietal, mientras que la negatividad obtenida por Fischler no tiene una distribución topográfica claramente definida. Por lo que se refiere a este último punto, hay que mencionar que en las tres investigaciones comentadas se registró la actividad eléctrica cerebral en muy pocas localizaciones, entre las cuales ni siquiera aparecían las parietales —F3, F4, C3, C4 y Cz en Fischler et al. (1984); Fz, C3, C4, Cz y Pz en Fischler et al. (1985); Fz, Cz y Pz en Fischler et al. (1987)—.

Puesto que lo que pretendíamos era comparar la negatividad asociada a la falsedad de las sentencias y el componente N400-clásico —a fin de determinar si se

² Véase la diferencia entre memoria semántica y memoria episódica propuesta por Tulving (1972; 1985). Mientras que las investigaciones en las que se ha obtenido el N400-clásico ponen en juego la memoria semántica de los participantes —conocimiento general sobre el mundo—, en los trabajos aquí comentados, por el contrario, los participantes utilizarían la memoria episódica —experiencias personales—.

trata o no del mismo componente—, decidimos reproducir uno de los experimentos publicados por Fischler et al. en 1985. En este experimento se manipularon dos variables: la veracidad o falsedad de la sentencia y el tipo de respuesta requerida al sujeto —en concreto la respuesta sincera frente a la mentira deliberada—. Como ya se ha comentado, aunque en este experimento se manifestó una negatividad tardía en el rango de los 400 ms ante las sentencias falsas, no se observó ninguna diferencia en el patrón de ERPs al comparar los dos tipos de respuesta. Este segundo resultado es totalmente coherente puesto que la emisión de una mentira requiere que primero se verifique la información contenida en la sentencia y luego se invierta la respuesta. En consecuencia, parece lógico que la mentira deliberada no afecte a los potenciales vinculados al procesamiento de la sentencia³.

Nos interesó, además, introducir algunas modificaciones en ciertos aspectos del procedimiento y del análisis de datos respecto del experimento original de Fischler. Los cambios de procedimiento fueron éstos: 1º, dado que el componente N400-semántico muestra máximas diferencias en la región centro-parietal, además de registrar los potenciales en las localizaciones frontales y centrales decidimos incorporar algunos electrodos sobre la zona parietal; 2º, aunque en un primer momento utilizamos los intervalos entre estímulos del experimento original, pronto nos dimos cuenta de que perdíamos muchos ensayos debido a la falta de tiempo para emitir la respuesta —especialmente en la condición de respuesta con mentira deliberada—, ello nos obligó a repetir el experimento incrementando el *ISI* entre sentencias⁴; 3º, incluimos al finalizar cada sentencia un asterisco que facilitaba a los participantes un descanso para parpadear, puesto que el instrumental que utilizamos —STIM y SCAN— no nos permitía, como en el experimento original, presentar de nuevo al finalizar la sesión los ensayos en los que previamente se habían producido movimientos oculares. Por lo que se refiere a las modificaciones en el análisis de datos, decidimos utilizar como variable dependiente la amplitud promedio en varias ventanas de latencia que comprendían intervalos temporales

³ Algunos investigadores han indagado en la posible aplicabilidad de los ERPs en la detección del conocimiento culpable (Bashore & Rapp, 1993; Boaz, Perry, Raney, Fischler & Shuman, 1991; Farwell & Donchin, 1991; Johnson & Rosenfeld, 1992; Rosenfeld, 1995), aunque, por el momento, no se han alcanzado resultados concluyentes.

⁴ En el primer experimento con los *IS/s* originales participaron 12 sujetos. No incluimos aquí los resultados que obtuvimos porque la mayoría de los promedios por condición no contenían suficientes ensayos (establecimos un mínimo de 25 para aceptar el promedio); muchos tuvieron que eliminarse porque el sujeto no tuvo tiempo de emitir su respuesta.

más reducidos que en el experimento original. De esta manera, como hemos indicado en nuestros experimentos anteriores, conseguíamos realizar un análisis más detallado de la respuesta psicofisiológica.

En suma, nuestras hipótesis es ésta: si ante las sentencias falsas aparece una onda negativa que presenta una latencia cercana a los 400 ms, y máximas diferencias en localizaciones centrales y parietales, entonces se podría afirmar que estamos ante el componente N400. En consecuencia, este componente podrá definirse como un indicador de discrepancia entre la información que posee un individuo y aquella que, de hecho, se le presenta, aun cuando se refiera a una información arbitraria para el sujeto.

7.2. MÉTODO

7.2.1. Sujetos

Los participantes en el experimento fueron 16 estudiantes universitarios —tres de ellos varones— de edades comprendidas entre 20 y 39 años (mediana = 22, media = 23.5, desviación estándar = 4.6). Todos eran castellano-parlantes, diestros y con visión normal o corregida.

7.2.2. Estímulos

Se elaboraron dos listas que contenían 18 sentencias cada una. En la primera lista (a partir de ahora lista A) las sentencias incluían el nombre propio de una persona —9 varones y 9 mujeres—, el verbo *es* y una profesión (por ejemplo: *Pedro es médico*). Los nombres propios y las profesiones se seleccionaron siguiendo estos criterios: 1º, todos los nombres propios eran nombres claramente masculinos o femeninos, tenían alta frecuencia de uso y contenían, como máximo, tres sílabas; 2º, todos los nombres de profesiones eran palabras de alta frecuencia de uso y estaban formadas por dos o tres sílabas. La segunda lista de sentencias (lista B) se elaboró a partir de la primera. Se asociaron de nuevo los nombres propios con las profesiones, de manera que no coincidieran en ningún caso con las sentencias de la lista A. Así se disponía de dos listas mediante las cuales se alcanzaba un doble

objetivo: por una parte, el mismo nombre propio no iba siempre asociado a la misma profesión; por otra, se conseguía, de forma ágil, la lista de sentencias falsas para cada sujeto, puesto que un grupo de sujetos aprendería la lista A mientras que el resto aprendería la lista B —para aquellos que aprendían la lista A, las sentencias de la lista B eran falsas, y viceversa—.

Tanto la elaboración como la presentación del material se realizó con el programa STIM 2.0. Todas las palabras aparecían escritas en minúscula (con excepción de la primera letra del nombre propio), de color blanco sobre el fondo negro. Los ojos del sujeto estaban a una distancia de 70 cm del estímulo y formaban con éste un ángulo visual vertical de 1.23° y un promedio de 3.68° de ángulo horizontal.

7.2.3. Procedimiento

El experimento se desarrolló en dos fases: una —fase de aprendizaje—, en la que los sujetos debían memorizar el material; otra —fase de registro—, en que se registraban los ERPs. En total, la sesión tuvo una duración de una hora y media aproximadamente.

La fase de aprendizaje tenía por objetivo conseguir que los participantes aprendieran las sentencias y fueran capaces de recordarlas correctamente cuando llegaran a la fase de registro. La sesión comenzaba con la entrega de la lista de sentencias y con la indicación de que se tomaran el tiempo necesario para memorizarla. En la lista, primero aparecían las sentencias referidas a varones, después, aquellas referidas a mujeres. Cuando el sujeto indicaba que ya había memorizado toda la información se le entregaba otra lista que contenía todos los nombres ordenados aleatoriamente, y se le pedía que escribiera junto a cada nombre propio la profesión que le correspondía según la lista original. Si todas las sentencias se completaban adecuadamente, se pasaba a la siguiente etapa; si no ocurría así, se entregaba al sujeto otra vez la lista inicial, se le pedía que volviera a memorizarla y, finalmente, contestaba el cuestionario; el proceso se repetía hasta que todas las respuestas fueran correctas.

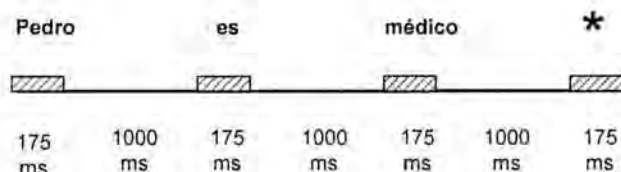


Figura 7.1. Esquema de un ensayo.

Una vez superada la etapa anterior, el sujeto se acomodaba en un sillón dentro de otra sala y se le colocaban los electrodos. Después, y antes de pasar a la fase de registro, se le sometía a una serie de ensayos con el objetivo de volver a comprobar que recordaba adecuadamente la información que había aprendido. Dentro de cada ensayo se presentaba en la pantalla de un ordenador el nombre propio, luego el verbo *es* y finalmente la profesión. Se pedía a los participantes que presionaran uno de los botones del ratón si la sentencia era verdadera y el otro si era falsa; el botón de respuesta se contrabalanceó entre sujetos. Todas las respuestas fuera del intervalo entre 100 y 1800 ms se consideraban errores por anticipación o lapsus. Además, se emitía un feedback de *respuesta inadecuada* ante las respuestas incorrectas, con lo cual el sujeto iba aprendiendo de sus errores. Hubo un descanso de medio minuto cada 36 ensayos. La fase de entrenamiento no se superaba hasta conseguir uno de estos requisitos: 1º, 54 ensayos consecutivos correctos; 2º, a partir del 54º ensayo, un 90% de los ensayos correctos. Cada estímulo permanecía en el centro de la pantalla del ordenador durante 175 ms, el intervalo entre estímulos fue de 800 ms y el intervalo entre ensayos fue de 1600 ms. Ambos intervalos de tiempo comprendían desde que el estímulo desaparecía de la pantalla hasta que se proyectaba el siguiente estímulo (ISI).

Tras la fase de aprendizaje se iniciaba la fase de registro, en la cual instruimos a los sujetos para que permanecieran relajados y con la mirada fija en el monitor. Se les indicó, además, que debían evitar parpadear y que esperasen para hacerlo a la aparición de un asterisco en la pantalla o a los correspondientes descansos. La fase de registro se desarrolló en dos sesiones separadas por un descanso de 5 minutos. La única diferencia entre las dos sesiones fueron las instrucciones dadas respecto a la tarea concreta que debía realizarse: en una de ellas se indicó a los participantes que verificaran la sentencia en el caso de que ésta hiciera referencia a un varón y

que mintieran deliberadamente si ésta aludía a una mujer; por el contrario, en la otra sesión, se les señalaba que se tenía que verificar la sentencia si se refería a una mujer, mientras que debían mentir si aludía a un varón. El orden de las sesiones se contrabalanceó entre sujetos.

Cada sesión de registro comenzaba con 20 ensayos de entrenamiento —5 de cada condición experimental— y continuaba con 72 ensayos —18 para cada condición—. Los 72 ensayos aparecían organizados en dos bloques de 36 ensayos y se presentaba un descanso de medio minuto entre ellos. En cuanto al contenido y desarrollo de cada ensayo fueron muy similares a los utilizados en la fase de aprendizaje, no obstante, hubo diferencias entre ellos: 1ª, contenían los siguientes estímulos: nombre + verbo + profesión + asterisco; 2ª, la respuesta debía darse tras la presentación del asterisco; 3ª, se indicaba a los sujetos que aprovecharan la aparición del asterisco para parpadear; 4ª, no hubo *feedback* de error para las respuestas incorrectas. Todos los estímulos se presentaron secuencialmente en una pantalla de ordenador donde permanecían durante 175 ms; el intervalo entre estímulos fue de 1000 ms y el intervalo entre ensayos fue de 2000 ms. En la Figura 7.1 presentamos el esquema de un ensayo.

7.2.4. Adquisición de datos

El procedimiento de adquisición de datos fue igual que en los experimentos anteriores.

7.2.5. Análisis de datos

El análisis se desarrolló en dos fases:

1ª. Análisis del número de errores. Nos interesó analizar el posible efecto de las variables *Tipo de sentencia* (verdadera, falsa) y *Tipo de respuesta* (sinceridad, mentira) sobre el número de errores. Para hacer esto, y dado que no existe una prueba no-paramétrica que nos permita analizar un diseño factorial de medidas repetidas, procedimos de la siguiente manera: 1º, aplicamos la prueba de Friedman tomando como factores cada una de las

condiciones experimentales; 2º, en caso de rechazar la hipótesis nula de que las cuatro muestras procedieran de poblaciones con idéntica distribución, planteamos contrastes por pares de condiciones utilizando la prueba no paramétrica para medidas repetidas T de Wilcoxon, y controlando el incremento en la tasa de error tipo I mediante la aproximación de Hochberg.

2ª. Análisis de la respuesta psicofisiológica. Este análisis se llevó a cabo de igual forma que en el experimento anterior. Sin embargo, en esta ocasión, tuvimos que eliminar los datos de cuatro de los participantes debido a que no presentaban suficientes ensayos para la elaboración de los distintos promedios por condición.

El análisis de los ERPs consistió en una serie de ANOVAs de medidas repetidas $2 \times 2 \times 7$ para las variables *Tipo de sentencia* (verdadera, falsa), *Tipo de respuesta* (sinceridad, mentira) y *Localización* (Fz, Cz, Pz, C3, C4, P3 y P4). El procedimiento seguido durante el análisis de datos fue el mismo que en experimentos anteriores, aunque, en ocasiones, tuvo que adaptarse debido a que algunos de nuestros factores (variables *Tipo de sentencia* y *Tipo de respuesta*) tenían sólo dos valores.

7.3. RESULTADOS

7.3.1. Análisis del Número de errores

El análisis estadístico mostró diferencias marginalmente significativas en el número de errores para las distintas condiciones experimentales, $\chi^2(3, N = 12) = 7.03$, $p = 0.071$. Los contrastes parciales pusieron de manifiesto que estas diferencias se debían a la presencia de un mayor número de errores en la condición de mentira deliberada que en la condición de respuesta sincera cuando las sentencias eran falsas, $Z = -2.50$, $p = 0.012$. Ninguno de los otros contrastes planteados alcanzó significación estadística. En la Tabla 7.1 mostramos la media y el error estándar para cada condición.

7.3.2. Análisis de los ERPs

Aunque no se observan diferencias en los patrones de los ERPs provocados por los distintos tipos de respuesta —sinceridad y mentira deliberada— (véase la Figura 7.2), sí se encuentran, en cambio, al comparar los dos tipos de sentencias —verdaderas y falsas—. En las Figuras 7.3 y 7.4 mostramos los grandes promedios para los dos tipos de sentencias en las condiciones de respuesta sincera y mentira deliberada (en la parte inferior de la figura aparece representada la onda diferencia). Hasta los 300 ms, aproximadamente, no hay diferencias entre los dos tipos de sentencias, no obstante, a partir de esta latencia el voltaje para cada tipo de sentencia es distinto: vemos, por una parte, que en las sentencias falsas se manifiesta una onda negativa, con pico aproximadamente en los 350 ms, seguida de un pico positivo con máxima amplitud entre los 400 y los 500 milisegundos; vemos, por otra parte, que en las sentencias verdaderas no aparece el pico negativo que hemos comentado para las sentencias falsas, y, en su lugar, se observa una onda positiva con pico en torno a los 400 ms.

7.3.2.1. N400

En las Tablas 7.2 y 7.3 mostramos los resultados del análisis de datos que corresponden a las distintas ventanas analizadas.

El efecto principal de la variable *Tipo de sentencia* alcanzó significación estadística en dos de las ventanas analizadas. En concreto, nos referimos a la ventana de 300-350, $F(1,11) = 19.54$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.64$, y a la de 350-400, $F(1,11) = 12.98$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.54$. En ambos casos el voltaje fue más negativo en las sentencias falsas que en las verdaderas. En la Tabla 7.4 mostramos la media y el error estándar para cada tipo de sentencia en todas las ventanas analizadas.

En la ventana de 350 a 400 ms el efecto descrito en el párrafo anterior estaba modulado por la localización, puesto que la interacción *Tipo de sentencia* x *Localización* también resultó significativa, $F(6,66) = 5.52$, $p = 0.001$, $\varepsilon = 0.34$, $\eta^2 = 0.33$. El análisis de los efectos simples puso de manifiesto que las diferencias en el voltaje provocado por sentencias verdaderas y falsas sólo se produjeron en las localizaciones centro-parietales; en concreto, las diferencias entre ambos tipos de

sentencias —el voltaje fue más negativo para las sentencias falsas— alcanzaron significación estadística en Pz, P3, P4, C3 y C4. Asimismo, esta interacción también fue estadísticamente significativa en otras dos ventanas analizadas: $F(6,66) = 7.11$, $p = 0.004$, $\varepsilon = 0.34$, $\eta^2 = 0.39$ para la ventana de 400-450; $F(6,66) = 5.56$, $p = 0.009$, $\varepsilon = 0.36$, $\eta^2 = 0.33$ para la de 450-500. En este caso, el análisis de los efectos simples no detectó diferencias entre los dos tipos de sentencias en ninguna de las localizaciones. En la Tabla 7.5 se encuentra el voltaje promedio para cada condición experimental en las ventanas donde la interacción *Tipo de sentencia* x *Localización* fue estadísticamente significativa.

En suma: las sentencias falsas presentaron una mayor negatividad que las sentencias verdaderas en el intervalo comprendido entre los 300 y los 400 ms, observándose las máximas diferencias en la región centro-parietal entre los 350 y los 400 ms. El tipo de respuesta requerida a los participantes —sinceridad y mentira deliberada—, sin embargo, no provocó diferencias en los potenciales en el rango de latencia correspondiente al N400.

7.3.2.2. P600

Los resultados del ANOVA para las distintas ventanas que se analizaron se encuentran en las Tablas 7.2 y 7.3. Con relación a las ventanas comprendidas entre los 500 y los 800 ms vemos que el efecto principal de la variable *Tipo de sentencia* resultó estadísticamente significativo para dos de ellas: $F(1,11) = 4.58$, $p = 0.055$, $\eta^2 = 0.29$ para la ventana de 500-600; $F(1,11) = 5.49$, $p = 0.039$, $\eta^2 = 0.33$ para la de 600-700. En la Tabla 7.4 —donde mostramos la media y el error estándar del voltaje obtenido para ambos tipos de sentencia en todas las ventanas analizadas— puede comprobarse como en ambos casos las sentencias falsas provocaron un voltaje más positivo que las sentencias verdaderas. Por otra parte, ninguna de las interacciones del resto de variables (*Tipo de respuesta* y *Localización*) con la variable *Tipo de sentencia* alcanzó significación estadística.

Por lo que se refiere al *Tipo de respuesta*, tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas ni en su efecto principal ni en sus interacciones con otras variables.



Figura 7.2. *Arriba:* Grandes promedios para los dos tipos de respuesta ante sentencias verdaderas. *Abajo:* Grandes promedios para los dos tipos de respuesta ante sentencias falsas.

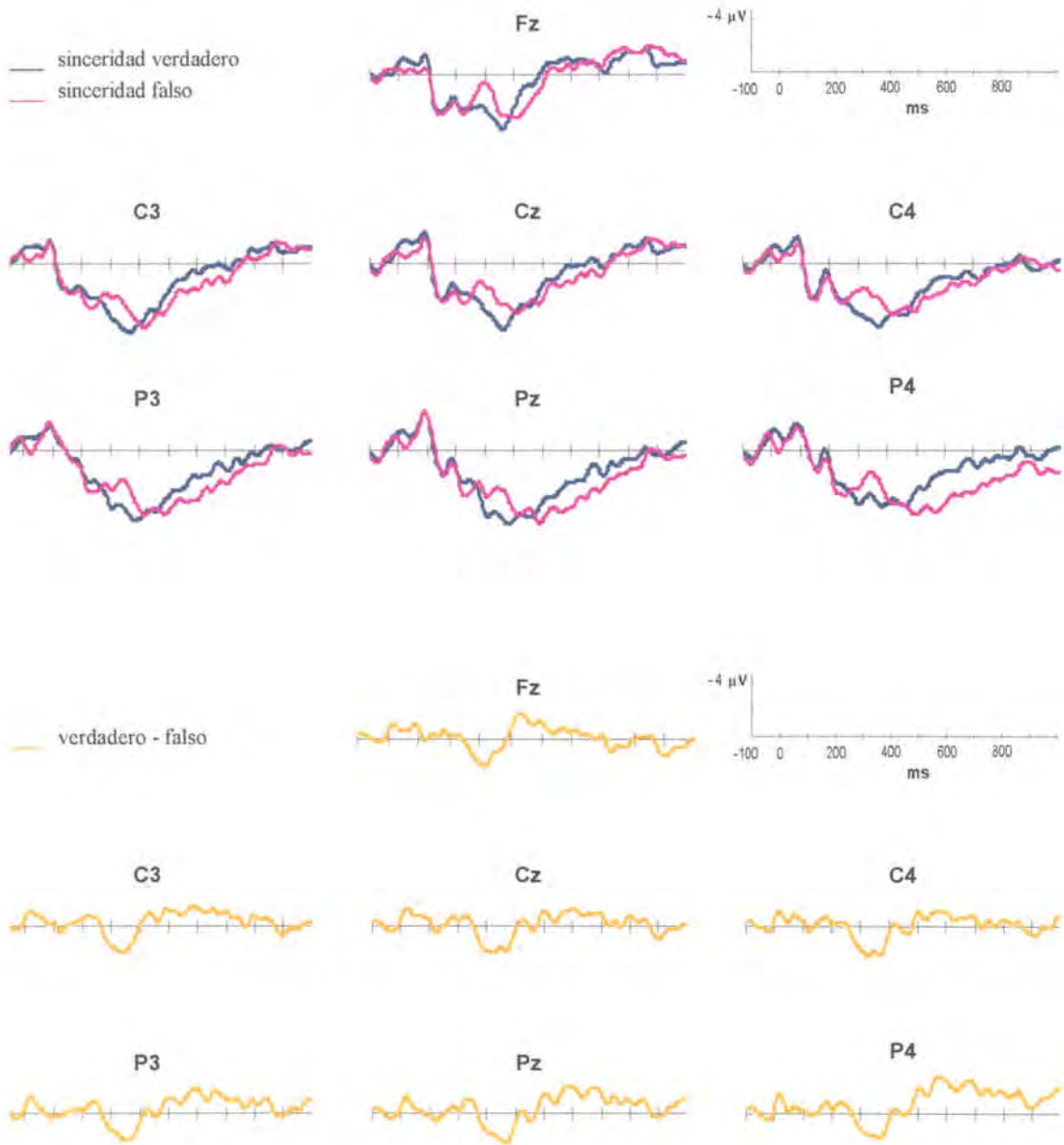


Figura 7.3. *Arriba:* Grandes promedios para los dos tipos de sentencias en la condición de respuesta sincera.

Abajo: Onda diferencia para la condición de respuesta sincera. Se calculó restando de los ERPs registrados ante sentencias verdaderas aquellos registrados ante sentencias falsas.

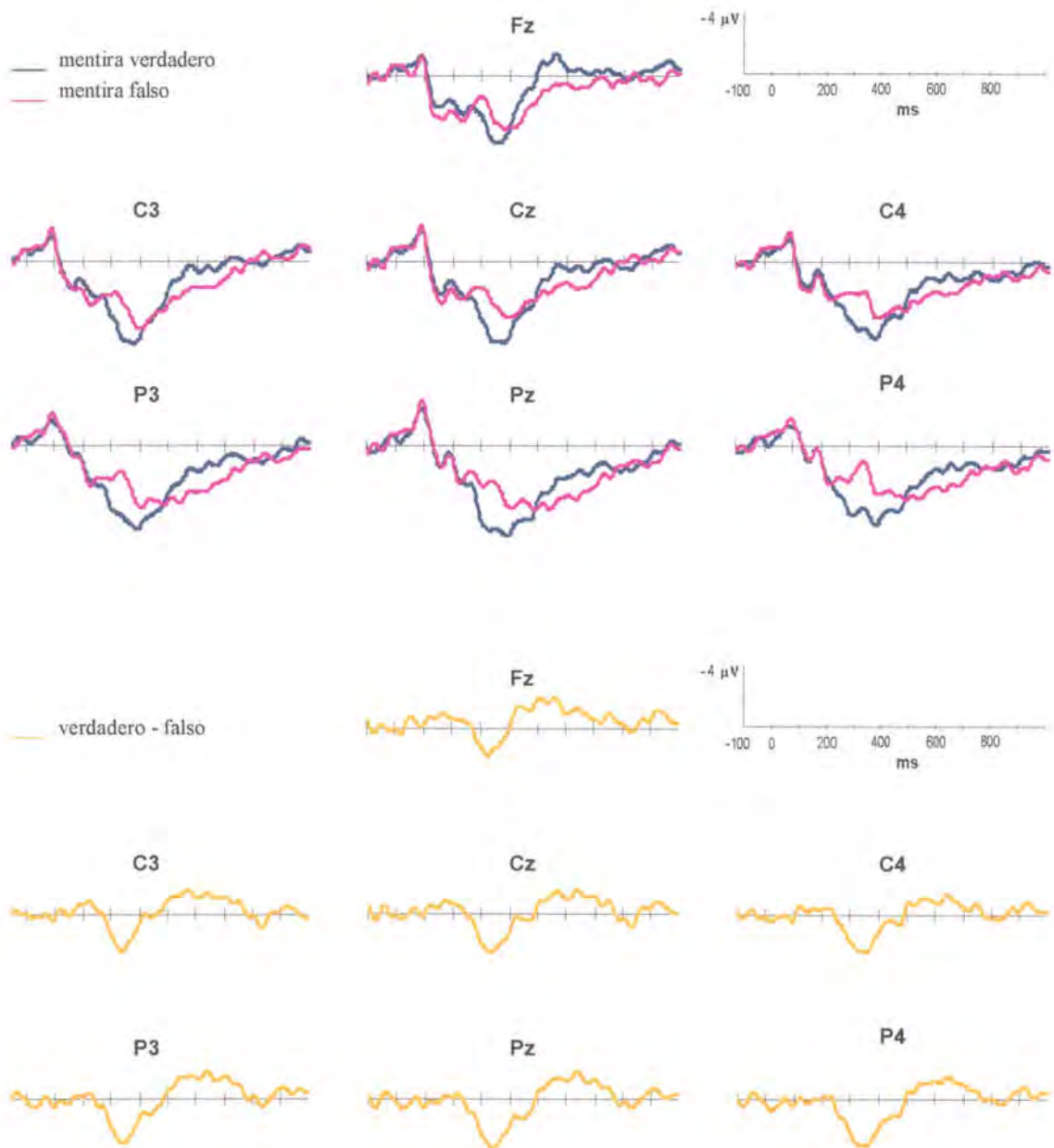


Figura 7.4. Arriba: Grandes promedios para los dos tipos de sentencias en la condición de mentira deliberada.

Abajo: Onda diferencia para la condición de mentira deliberada. Se calculó restando de los ERPs registrados ante sentencias verdaderas aquellos registrados ante sentencias falsas.

Tabla 7.1. Media y error estándar para la variable *Número de errores* en cada condición experimental.

	Verdadera Sinceridad	Verdadera Mentira	Falsa Sinceridad	Falsa Mentira
Media	2.333	2.750	1.917	3.917
Error estándar	.655	.566	.529	.981

Tabla 7.2. Resultados del ANOVA para los efectos *Tipo de sentencia*, *Tipo de respuesta* y *Tipo de sentencia x Tipo de respuesta*.

Tiempo (ms)	Tipo de sentencia			Tipo de respuesta			Sentencia x Respuesta		
	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>P</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
250-300	2.488	.143	.184	.111	.745	.010	.393	.544	.034
300-350	19.542	.001***	.640	1.694	.220	.133	1.884	.197	.146
350-400	12.983	.004**	.541	1.689	.220	.133	1.251	.287	.102
400-450	.001	.974	.000	1.227	.292	.100	3.539	.087	.243
450-500	.105	.752	.009	.438	.522	.038	.615	.449	.053
500-600	4.587	.055	.294	.200	.663	.018	.263	.618	.023
600-700	5.494	.039*	.333	.789	.393	.067	.285	.604	.025
700-800	.568	.467	.049	.975	.345	.081	.055	.818	.005

* .05 ? *p* > .01; ** .01 ? *p* > .001; *** *p* ? .001

Nota: puesto que todas las variables independientes tienen sólo dos niveles, los resultados son los mismos en los tres análisis realizados: 1) ANOVA asumiendo el cumplimiento de la condición de esfericidad, 2) ANOVA corrigiendo los grados de libertad, y 3) análisis multivariable

Tabla 7.3. Resultados del ANOVA para los efectos interactivos en que se incluye el factor *Localización*.

Tiempo (ms)	Sentencia x Localización			Respuesta x Localización			Sentencia x Respuesta x Localiza		
	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
250-300	.935 ^b	.435	.078	.413 ^b	.645	.036	2.239 ^b	.115	.169
300-350	1.396 ^b	.267	.113	.543 ^b	.575	.047	1.303 ^b	.290	.106
350-400	5.518 ^b	.011*	.334	.161 ^b	.900	.014	.332 ^b	.715	.029
400-450	7.111 ^b	.004**	.393	.616 ^b	.602	.053	.462 ^b	.672	.040
450-500	5.563 ^b	.009**	.336	.313 ^b	.793	.028	.753 ^b	.490	.064
500-600	.538 ^b	.629	.047	1.180 ^a	.328	.097	1.299 ^b	.293	.106
600-700	1.959 ^b	.151	.151	1.734 ^a	.127	.136	.333 ^b	.659	.029
700-800	1.299 ^b	.292	.106	1.908 ^a	.092	.148	.752 ^b	.490	.064

^a esfericidad asumida; ^b corrección de Greenhouse-Geisser.
* .05 ? *p* > .01; ** .01 ? *p* > .001; *** *p* ? .001

Tabla 7.4. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) para los dos tipos de sentencia en todas las ventanas analizadas.

	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500	500-600	600-700	700-800
Sentencia verdadera	4.10 (1.02)	5.92 (1.24)	6.70 (1.02)	5.51 (.80)	4.51 (.79)	2.04 (.87)	1.12 (.93)	.61 (1.24)
Sentencia falsa	3.20 (1.04)	3.13 (1.06)	4.57 (1.24)	5.48 (1.25)	4.71 (1.16)	3.56 (1.31)	2.66 (1.31)	.78 (1.45)
Diferencia	.90	2.79	2.13	.03	-.20	-1.52	-1.54	-.17

Tabla 7.5. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) obtenidos en las ventanas 350-400, 400-450 y 450-500 para las sentencias verdaderas y falsas en las distintas localizaciones.

	350-400			400-450			450-500		
	Verdadera	Falsa	Dif.	Verdadera	Falsa	Dif.	Verdadera	Falsa	Dif.
C3	7.18 (1.02)	5.57 (1.30)	1.61	5.75 (.94)	6.25 (1.24)	-.50	4.22 (1.00)	4.91 (1.24)	-.69
C4	6.47 (.95)	4.16 (1.17)	2.31	5.51 (.63)	5.24 (1.12)	.27	4.82 (.70)	4.56 (1.11)	.26
P3	7.08 (1.23)	4.41 (1.36)	2.67	6.67 (.96)	5.92 (1.41)	.75	5.73 (.98)	5.64 (1.25)	.09
P4	6.03 (1.20)	3.23 (1.15)	2.80	5.78 (.91)	4.95 (1.27)	.83	5.47 (.90)	5.19 (1.12)	.28
Cz	6.94 (1.09)	4.96 (1.48)	1.98	5.11 (.96)	5.17 (1.39)	-.06	3.92 (.93)	3.95 (1.36)	-.03
Fz	5.50 (1.03)	4.88 (1.46)	.62	2.72 (1.14)	4.72 (1.48)	-2.00	.87 (1.19)	2.68 (1.52)	-1.81
Pz	7.68 (1.32)	4.78 (1.35)	2.90	7.03 (1.01)	6.13 (1.47)	.90	6.49 (.97)	6.07 (1.32)	.42

Nota: Dif. = diferencia (en μV).

7.4. DISCUSIÓN

Nuestro experimento reproduce los resultados obtenidos en la investigación de Fischler et al. (1985). Encontramos, por una parte, un pico negativo tardío ante sentencias falsas, que no se manifestó ante sentencias verdaderas. Por otra parte, no se observaron diferencias en el voltaje en ninguna de las ventanas correspondientes al comparar las condiciones en las que el sujeto respondía con sinceridad respecto de aquéllas en que mentía deliberadamente.

En cuanto a si la negatividad provocada ante las sentencias falsas es o no el componente N400-clásico —es decir, aquel obtenido al presentar una palabra perteneciente a una categoría semántica distinta de las palabras que la preceden o ante una palabra que completa una sentencia de forma semánticamente incongruente—, creemos que hay varios argumentos que apoyan la hipótesis de que, en efecto, lo sea. Nuestro razonamiento parte de la definición que Donchin et al. (1978) hacen de *componente*, a la que ya hemos aludido en otro lugar, pero que no está de más volver a repetirla aquí: un componente es una porción de onda que se caracteriza por una combinación de su polaridad, latencia, topografía y de su sensibilidad a una determinada manipulación experimental. En nuestro experimento hemos encontrado una onda de polaridad negativa al presentar sentencias falsas respecto a una información que los participantes habían aprendido en el laboratorio. Esta negatividad se inicia en los 300 ms y se prolonga hasta los 400, mostrando máxima amplitud entre los 350 y los 400 ms. Además, aunque esta onda no presenta una clara distribución topográfica hasta los 350 ms, a partir de aquí, en cambio, muestra máximas diferencias en la región centro-parietal.

Según lo expuesto en el párrafo anterior, la negatividad que hemos encontrado coincide con el N400-clásico en polaridad, latencia y topografía. Por lo que se refiere al tipo de manipulación que la provoca, en nuestro experimento este componente se manifiesta al presentar una palabra que completa falsamente una sentencia. Coincide, en este sentido, con el N400 que se ha observado ante palabras que completan una sentencia de forma semánticamente incongruente, puesto que, en ambos casos, este componente se muestra ante una discrepancia entre la

información esperada o preparada por el sujeto y la que, en efecto, se le presenta. La principal diferencia entre nuestro experimento y aquellos en los que tradicionalmente se ha obtenido un N400 radica en que nosotros trabajamos con información arbitraria para el sujeto —la aprende expresamente en el laboratorio un rato antes del registro— mientras que aquéllos utilizan información libre de contexto. En definitiva, nuestra opinión es que el componente N400 más que ser un indicador de incongruencia semántica entre sujeto y objeto directo de la oración, tal como se ha definido en algunas investigaciones comentadas en la introducción a este experimento, es un índice de incongruencia entre información esperada e información presentada. Dicho de otro modo, el componente N400 sería un indicador de discordancia respecto al conocimiento del sujeto.

Aunque nuestras conclusiones parecen contradecir las producidas por Fischer et al. (1983), Kounios y Holcomb (1992) y Pollina y Squires (1998), al indicar que el N400 es sensible a la falsedad de las sentencias, creemos que hay varias razones que pueden explicar el hecho de que en estas investigaciones no apareciera el componente N400 ante las sentencias falsas.

En primer lugar, recordemos que Fischler et al. (1983) trabajan con sentencias negativas. Obtienen un N400 ante sentencias afirmativas falsas y negativas verdaderas —en las cuales hay incongruencia semántica entre el sujeto y el objeto de la oración—, sin embargo, este componente no aparece ante sentencias afirmativas verdaderas ni ante las negativas falsas —donde no hay incongruencia semántica entre el sujeto y el objeto de la oración—. A partir de estos resultados, los autores concluyen que el componente N400 no es un indicador del grado de falsedad de la sentencia, sino que es sensible a la relación semántica entre las palabras. Nuestros resultados coinciden con los de esta investigación por lo que se refiere a las sentencias afirmativas, puesto que el componente N400 aparece ante sentencias falsas pero no ante sentencias verdaderas. No ocurre lo mismo con las sentencias negativas, porque, en este caso, el componente N400 aparece ante sentencias verdaderas pero no ante sentencias falsas. Existe, sin embargo, una explicación que justifica este resultado y que no contradice nuestra definición acerca de la naturaleza de este componente. Este argumento se sustenta en los estudios sobre procesamiento de las negaciones (véase por ejemplo, Clark y Clark, 1977, y Wason y Jonson-Laird, 1981). Estos estudios indican que ante una tarea de

verificación de una sentencia negativa lo primero que hacemos es borrar mentalmente la palabra *no*, a continuación evaluamos el resultado afirmativo como verdadero o falso, y, finalmente, invertimos la respuesta al incorporar la negación. Así, parece lógico que se manifieste un N400 ante las sentencias negativas verdaderas y no ante las negativas falsas, dado que, en definitiva, se procesa primero la sentencia en afirmativo⁵.

Por lo que se refiere al trabajo de Pollina y Squires (1998), se utilizó material aprendido en el laboratorio y presentaron sentencias probablemente ciertas, posiblemente ciertas y probablemente falsas. Tal vez no se obtuvo el componente N400 ante sentencias probablemente falsas porque, en definitiva, no se trataba de sentencias consideradas falsas por los sujetos de forma absoluta —completamente falsas— sino que se sustentaban en una suposición o intuición respecto a la persona que había cometido el delito.

Finalmente, recordemos que Kounios y Holcomb (1992) llegan a conclusiones similares a las de Fischler (1983). Trabajaron con sentencias que ponían en relación dos palabras, manipulando tanto la relación semántica entre ellas —*dogs/animals*; *dogs/fruit*— como el cuantificador adverbial que acompañaba al sujeto de la oración —*all*, *some*, *no*—. Encuentran el componente N400 cuando el sujeto y el predicado de la oración no están semánticamente relacionados, pero no parece que este componente sea sensible a los distintos cuantificadores. En este caso, el cuantificador era el que definía la veracidad o falsedad de la sentencia. En nuestra opinión, este resultado no es incongruente con nuestras conclusiones por dos motivos: 1º, respecto de las sentencias negativas ya hemos justificado porque este componente no aparece cuando la sentencia es falsa; 2º, en cuanto al cuantificador *some* consideramos que, como en el caso de la investigación de Pollina y Squires, ofrece un valor de verdad indeterminado, que puede justificar la no-aparición del N400 ante sentencias falsas; además, no permite generar una expectación acerca de la palabra que mejor completará la sentencia —véase por ejemplo, la frase *Some dogs are animals*—.

⁵ Para verificar una sentencia como *A robin is not a vehicle* (sentencia negativa verdadera) se procedería de la siguiente manera: primero convertiríamos la frase en afirmativa —*A robin is a vehicle*—, después decidiríamos si es verdadera o falsa, y, finalmente, invertiríamos nuestra respuesta al incorporar negación. Si el procesamiento ante este tipo de sentencias es éste, tiene sentido que el componente N400 se manifieste ante su presentación.

Para acabar, queremos comentar que parece lógico que no haya diferencias en el N400 al comparar las respuestas sinceras con las mentiras deliberadas, puesto que, cuando emitimos una mentira primero hemos de decidir si la sentencia es verdadera o falsa y luego invertir la respuesta. El componente N400 aparecería asociado al proceso de verificación de la sentencia más que a la emisión de una respuesta sincera o una mentira; esta última tarea se realizaría después de verificar.

8. CUARTO EXPERIMENTO: SERIES DE NUMEROS

8.1. INTRODUCCIÓN

El componente N400 se asocia tradicionalmente con el procesamiento semántico de la información. Tal especificidad semántica se sustenta en los resultados obtenidos en dos tipos de investigaciones. Por una parte, disponemos de una amplia variedad de trabajos en los cuales se presentan incongruencias semánticas, en los que, en efecto, este componente se manifiesta (véase, por ejemplo, la revisión de Kutas & Van Petten, 1994). Por otra parte, también tenemos aquellos experimentos donde se muestran incongruencias no semánticas, en los que no hay señal del N400. Dentro de este último grupo destacan, principalmente, trabajos que utilizan estímulos musicales (Besson & Macar, 1987; Paller, McCarthy & Wood, 1992; entre otros). En síntesis, se dice que el componente N400 es un indicador específico del procesamiento semántico tanto porque aparece ante la presentación de discordancias semánticas, como por su ausencia al presentar otros tipos de incongruencia.

En contraposición a los trabajos referidos en el párrafo anterior —en los cuales se presentaron incongruencias no-semánticas y no aparecía el componente N400—, existen otros donde se ha observado una negatividad tipo N400 ante incongruencias que no implican el procesamiento semántico del estímulo. Estos se agrupan fundamentalmente en tres líneas de investigación. La primera ha utilizado incongruencias al presentar caras de personas (Barret, Rugg & Perret, 1988; Bobes,

Valdés-Sosa & Olivares, 1994; Olivares, Bobes, Aubert & Valdés-Sosa, 1994; Olivares, Iglesias & Bobes, 1998; entre otros); la segunda se ha interesado en las tareas de rotación mental (Ruchkin, Johnson, Canoune & Ritter, 1991; Stuss, Sarazin, Leech, & Picton, 1983); por último, la tercera aporta la existencia de una negatividad asociada al procesamiento aritmético (Niedeggen & Rösler, 1996; Niedeggen & Rösler, 1999; Niedeggen, Rösler & Jost, 1999; Polich, 1985). Aunque en estas investigaciones se ha obtenido una negatividad tardía al presentar incongruencias no-semánticas, en los dos primeros grupos se han dado argumentos en contra de que esa negatividad sea un verdadero N400. Respecto del primero, se ha dicho que la onda negativa observada ante las incongruencias en caras no es el componente N400 clásico, puesto que ambas ondas presentan una topografía distinta —centro-parietal para el componente N400 y occipital para la onda negativa que aparece ante las caras—. En cuanto a la negatividad que se ha encontrado en las tareas de rotación mental, los últimos trabajos sobre el tema apuntan que no se trata del componente N400 sino de una onda negativa lenta (Bajric, Rösler, Heil & Hennighausen, 1999; Desrocher, Smith & Taylor, 1995; entre otras). En definitiva, aunque parecía que estas investigaciones podrían cuestionar la especificidad semántica del componente N400, vemos cómo se han dado argumentos que, en la línea de los trabajos con estímulos musicales (no-aparición del N400-clásico ante estímulos que no requieren de procesamiento semántico), más bien confirmarían tal especificidad. En fin, el tema se resuelve aportando dos nuevos componentes: el N374 occipital relacionado con el procesamiento de caras y una onda negativa lenta asociada a la rotación mental.

Abordamos en un párrafo aparte los trabajos con incongruencias numéricas, puesto que los resultados obtenidos en ellos, a diferencia de los de las investigaciones sobre caras y rotación mental, sí que cuestionan la especificidad semántica del N400. De hecho, Niedeggen, Rösler y Jost aportan evidencias de la existencia de un N400-aritmético, evidencias que se apoyan en las similitudes entre este componente y el N400-semántico. Se trata de las siguientes: una, su latencia, aproximadamente en los 400 ms; dos, su topografía, que en ambos casos es centro-parietal; y tres, el tipo de manipulación experimental que los provoca. Este último punto se concreta en que ambas negatividades no sólo aparecen ante la presentación de una incongruencia — semántica o aritmética— sino que, además, su amplitud varía en función de la relación que tenga el estímulo presentado con el

contexto precedente. Los estudios sobre probabilidad *c/oze* en sentencias (Kutas & Hillyard, 1984; Kutas, Lindamood & Hillyard, 1984) han puesto de manifiesto que la amplitud del componente N400-semántico varía inversamente en relación con la adecuación de una palabra al contexto que la precede —es decir, la amplitud del N400 aumenta gradualmente a medida que incrementamos el grado de incongruencia de una palabra respecto a la sentencia precedente—. Niedeggen et al. intentaron trasladar la idea de probabilidad *c/oze* en sentencias al campo de la aritmética. Para ello presentaron multiplicaciones sencillas en la cuales se manipuló el grado de incongruencia de su resultado. Se procedió de la siguiente manera: presentaron como resultado incorrecto un número relacionado o no en la tabla de multiplicar con alguno de los operandos¹. Así, finalmente, dispusieron de tres tipos de estímulos que se podían ordenar de más a menos congruencia como sigue: resultado correcto, resultado incorrecto relacionado en la tabla con alguno de los operandos y resultado incorrecto no relacionado. Encontraron una onda negativa ante los dos tipos de incongruencias (o resultados incorrectos), que mostraba menor amplitud cuando el estímulo presentado era un número relacionado en la tabla con alguno de los operandos. La similitud de este resultado con aquellos obtenidos en los experimentos sobre probabilidad *c/oze* en sentencias aporta nuevas evidencias del paralelismo existente entre el N400-semántico y el N400-aritmético.

Una investigación anterior ya había establecido la analogía entre el N400-semántico y una negatividad obtenida al presentar incongruencias con números (Polich, 1985). Polich utilizó sentencias, series de palabras, series de números y series de símbolos, que podían aparecer completadas de forma correcta o incorrecta. Afirma que el componente N400 aparece ante todos los estímulos que son inadecuados respecto al contexto que los precede. No obstante, esta investigación adolece de ciertos problemas, por lo que es discutible que la negatividad obtenida ante series de números sea, en efecto, el N400-semántico. Uno de los problemas radica en que sólo se registró la actividad eléctrica cerebral en tres localizaciones (Fz, Cz y Pz), lo cual dificulta el análisis topográfico de la onda. Aparte de esto, tampoco ofrece un análisis de datos detallado, puesto que se limita

¹ Por ejemplo, una incongruencia relacionada sería $5 \times 8 = 32$, mientras que una incongruencia no relacionada sería $5 \times 8 = 34$.

a comentar las diferencias entre los patrones de ERPs de los distintos tipos de estímulos basándose únicamente en la inspección visual de las ondas.

En claro contraste con los resultados obtenidos por Niedeggen et al. tenemos el trabajo de Wang, Kong, Tang, Zhuang y Li (2000). Estos autores utilizaron un material y un procedimiento similares a los descritos en las investigaciones de Niedeggen², pero se obtuvieron resultados distintos. Presentaron sumas, restas, multiplicaciones y divisiones tras las cuales podía aparecer bien el resultado correcto, bien uno incorrecto. Ante el resultado incorrecto, lejos de encontrar un N400-aritmético se manifestó una onda negativa con pico en los 270 ms. Wang et al. denominan a este componente N270. En otra investigación llevada a cabo por estos autores (Kong et al, 2000), se obtiene un N270 al presentar pares de dígitos distintos. En definitiva estos autores dicen haber encontrado un nuevo componente relacionado con el significado de los números. Añaden que no se trata del N400-clásico puesto que el N270 tiene una latencia más temprana y una topografía distinta —latencia cercana a los 270 ms y máximas diferencias en las regiones central y occipital—. Por otra parte, este componente siempre aparece acompañado de un P300.

Tras revisar otras investigaciones en las que se ha estudiado el patrón de ERPs ante tareas que implican el procesamiento aritmético del estímulo (Kong, Wang, Shang, Wang, Yang & Zhuang, 1999; Pauli, Lutzenberger, Birbaumer, Rickard & Bourne, 1996; Ruchkin et al., 1991), vimos que, como regla general, se ocupaban del efecto que tenía sobre los ERPs el proceso de cálculo en sí mismo, y no del efecto que provocaba la presentación de un resultado incorrecto para la operación aritmética implicada. En consecuencia, no encontramos nada nuevo respecto al tema que nos interesaba, es decir, el procesamiento de incongruencias ante tareas de cálculo aritmético.

A fin de estudiar si el componente N400 es específico del procesamiento semántico, decidimos realizar un experimento parecido al que habíamos llevado a cabo con categorías semánticas, pero utilizando números en lugar de palabras. Si

² Una de las diferencias entre las investigaciones de Niedeggen et al. y Wong et al. radica en que mientras que los primeros utilizaron como material sólo multiplicaciones, los segundos, en cambio, trabajaron con sumas, restas, multiplicaciones y divisiones.

en aquel caso presentamos series de seis palabras pertenecientes a una misma categoría y una palabra final que podía pertenecer o no a la categoría precedente, en éste utilizamos series de seis números y un número final que podrá continuar o no la serie de forma correcta. Hasta aquí el procedimiento es parecido al descrito por Polich (1985), no obstante, decidimos incorporar algunas modificaciones. Por una parte, registramos la actividad eléctrica cerebral en más localizaciones y ofrecemos un análisis más detallado de los ERPs. Por otra parte, manipulamos el grado de adecuación del número final respecto a la serie precedente, de manera que el dígito presentado podía ser de tres tipos: el número correcto, un número incorrecto pero cercano al correcto (por ejemplo si el número correcto es el 6 presentábamos el 5 o el 4) y un número incorrecto muy alejado del correcto (siguiendo con el ejemplo anterior, podía ser la presentación del número 35). Nuestra intención al manipular de esta variable era estudiar si el hecho de que la incorrección fuera muy evidente para el sujeto producía un patrón de ERPs diferencial respecto a aquél provocado por incorrecciones no tan evidentes. En definitiva, consideramos que si el componente N400 aparece al presentar números que completan la serie de forma incorrecta, obtendremos una nueva evidencia de que este componente no es un indicador exclusivo del procesamiento semántico. Esta afirmación podría verse reforzada si además de aparecer un N400 ante las incongruencias aritméticas se observa una graduación en su amplitud en función del grado de incongruencia —cuanto más fácil sea detectar la incorrección del número, mayor debería ser el N400—.

Aparte de estudiar el efecto que la presentación de un número incorrecto podría tener en los ERPs, también analizamos el posible efecto de otras dos variables: la primera, el tipo de operación aritmética requerida (suma o resta); la segunda, el hecho de que se le pidiera o no una respuesta motora al sujeto.

8.2. MÉTODO

8.2.1. Sujetos

La muestra estaba compuesta por un total de 14 estudiantes universitarios —tres de ellos varones— de edades comprendidas entre 20 y 33 años (mediana = 21,

media = 22.1, desviación estándar = 3.4). Todos tenían visión normal o corregida y dos de ellos eran zurdos.

8.2.2. Estímulos

Se elaboraron series numéricas compuestas por siete números, los seis primeros constituían la serie y el último era el ítem objetivo. El procedimiento para construir las series fue el que sigue: tomamos como valores iniciales los números del 1 al 16, y a cada uno de ellos se les sumó, o se les restó, una misma cifra de forma consecutiva. Con el fin de no dificultar más de lo necesario la tarea de los sujetos utilizamos las cifras 2, 3 o 4 para realizar las sumas o las restas. De esta manera, obtuvimos un total de 48 series ascendentes —sumas— y 48 descendentes —restas—. Cada una de estas 96 series podía finalizar de tres maneras distintas —ítems objetivo— que definían tres grados de congruencia. El primer tipo de ítem objetivo, llamado *congruencia*, lo constituían los números que seguían la serie de forma correcta; el segundo tipo, al que denominamos *incongruencia alta*, eran números que completaban la serie con una incongruencia evidente; el tercer tipo, denominado *incongruencia baja*, estaba compuesto por números incorrectos, pero muy cercanos a la respuesta correcta³.

Tanto la elaboración del material como su posterior presentación se efectuó con el programa STIM 2.0. Los números aparecían escritos en color blanco sobre el fondo negro de la pantalla de un ordenador. Los ojos de sujeto estaban a una distancia de 70 cm del estímulo, formando con éste un ángulo visual vertical de 1.63° y un ángulo visual horizontal de 0.8° (si el número tenía un solo dígito) o de 1.63° (si el número contenía dos dígitos).

8.2.3. Procedimiento

Los participantes realizaron dos sesiones en el laboratorio, cada una de ellas duraba aproximadamente 2 horas y media. Estas sesiones se desarrollaron en dos días para

evitar que los sujetos se fatigaran; entre un día y otro dejamos transcurrir un intervalo de tiempo no inferior a 30 días. El procedimiento fue siempre el mismo, pero hubo una diferencia, a saber, la tarea concreta que se había de realizar: en una sesión las instrucciones indicaban que debía apretarse el botón izquierdo del ratón siempre que apareciera un número que continuara la serie de forma adecuada —esta sesión recibió el nombre de *respuesta a la congruencia*—; en la otra sesión, los participantes tenían que presionar de nuevo el botón izquierdo si el número presentado completaba la serie de forma inadecuada —sesión de *respuesta a la incongruencia*—. El tipo de sesión se contrabalanceó entre los sujetos, de manera que la mitad de ellos comenzó por una sesión de respuesta a la congruencia, mientras que el resto empezó con una sesión de respuesta a la incongruencia. La asignación a cada sujeto de uno u otro orden fue aleatoria.

Durante el experimento los participantes permanecían sentados en un sillón delante de la pantalla de un ordenador. Cada sesión comenzaba con la colocación de los electrodos, continuaba con una fase de entrenamiento y finalizaba con una fase de registro. En la fase de entrenamiento se presentaban una serie de ensayos similares a los que luego se utilizarían en la fase de registro. Dado que lo que queríamos era tener la seguridad de que los participantes entendían bien la tarea, establecimos como criterio de aprendizaje el cumplimiento de uno de estos dos requisitos: 1º, respuesta correcta a los 10 primeros ensayos consecutivos; 2º, que a partir del décimo ensayo se obtuviera un 90 % de aciertos. Se presentaba un *feedback* de *respuesta inadecuada* siempre que se emitía un error. Hubo un descanso de 30 segundos cada 20 ensayos.

Una vez superada la fase de entrenamiento se pasaba a la fase de registro en la cual se instruía al sujeto para que permaneciera relajado y con la mirada fija en el monitor. Además, se le indicaba que evitara parpadear, y que, si tenía necesidad de

³ Las *incongruencias bajas* se elaboraron sumando o restando 1, de forma alterna, al número que completaba la serie de forma correcta. Las *incongruencias altas*, por el contrario, se obtuvieron sumando 25 al número correcto (en este caso no se restó esa misma cantidad a cada serie para evitar la presentación de números negativos). Por ejemplo: dada la serie 1 4 7 10 13 16, una *incongruencia baja* sería 18 mientras que una *incongruencia alta* sería 44.

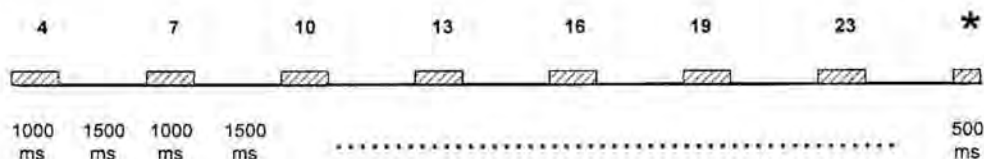


Figura 8.1. Esquema de un ensayo.

hacerlo, esperase a la aparición de un asterisco en la pantalla o a los correspondientes descansos de la prueba. Cada ensayo estaba constituido por siete números que aparecían secuencialmente en la pantalla del ordenador: seis constituían la serie y el séptimo era el ítem objetivo, el cual podía completar la serie de forma correcta o incorrecta. Tras el ítem objetivo aparecía un asterisco que informaba al participante de tres cosas: 1ª, la serie había finalizado; 2ª, se disponía de un tiempo para parpadear; 3ª, debía emitirse una respuesta (en la Figura 8.1 presentamos el esquema de un ensayo). En cuanto a este último punto, como indicamos anteriormente, el tipo de respuesta era diferente dependiendo de la sesión: en una debía responderse ante las congruencias; en otra se había de responder a la incongruencia. En ambos casos las instrucciones hacían énfasis en que la respuesta se emitiera tras la aparición del asterisco y no antes, ya que las respuestas anticipadas se considerarían errores. A diferencia de la fase de entrenamiento, en las fases de registro el sujeto no recibía *feedback* de respuesta inadecuada.

En cada sesión cada uno de los sujetos se sometió a 288 ensayos que se distribuyeron en 12 bloques de 24. Hubo un descanso de 30 segundos cada 12 ensayos para evitar que el sujeto se fatigara y con la finalidad de facilitarle un tiempo para que parpadeara o se moviera. Además, tuvieron un descanso de 5 minutos en la mitad de la fase de registro. Dentro de cada bloque se controló tanto el tipo de ensayos que se incluían como su orden de aparición. Para cada bloque seleccionamos cuatro ensayos de cada tipo (*congruencia*, *incongruencia baja*, *incongruencia alta*), los cuales aparecían de forma aleatoria pero con las siguientes restricciones: 1ª, que no se presentaran más de tres series congruentes o tres incongruentes consecutivas; 2ª, que no coincidieran más de tres sumas o tres

restas seguidas. Entre las dos sesiones cada sujeto fue sometido a un total de 576 series, 48 para cada condición experimental.

En cuanto a la distribución de cada ensayo, los números permanecían en la pantalla durante 1000 ms, con un intervalo interestímulos de 1500 ms. Después del ítem objetivo se presentaba un asterisco durante 500 ms. El intervalo entre-ensayos fue de 1500 ms. Los dos intervalos anteriores abarcaban desde que un estímulo desaparecía hasta que se proyectaba el siguiente estímulo (*ISI*).

8.2.4. Adquisición de datos

La adquisición de datos fue igual que en los experimentos anteriores.

8.2.5. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó de forma análoga a como se había hecho en experimentos anteriores. Por una parte analizamos la variable *Número de errores*⁴ siguiendo el procedimiento descrito en el experimento de verificación de sentencias (prueba de Friedman para detectar diferencias entre las distintas condiciones experimentales y contrastes por pares de condiciones mediante la prueba T de Wilcoxon para medidas repetidas). Por otra parte, para el análisis de la respuesta psicofisiológica se llevaron a cabo ANOVAs de medidas repetidas 3 x 2 x 2 x 7 con las variables *Grado de congruencia* (congruencia, incongruencia baja, incongruencia alta), *Tipo de operación* (suma, resta), *Tipo de respuesta* (con o sin respuesta) y *Localización* (Fz, Cz, Pz, C3, C4, P3 y P4).

⁴ Dado que cada participante se sometió a dos sesiones de registro —una en que debía responder ante las incongruencias y otra donde había de responder a la congruencia— se consideraron errores tanto aquellos ensayos donde se emitía una respuesta y no se tenía que responder, como aquellos otros donde se esperaba una respuesta y ésta no se producía. Por ejemplo, en la sesión de respuesta a la incongruencia se contabilizaron como errores tanto las no-respuestas ante estímulos incongruentes como las respuestas ante estímulos congruentes. En la sesión de respuesta a la congruencia, por el contrario, se registraron como errores las no-respuestas a los estímulos congruentes y las respuestas ante estímulos incongruentes.

8.3. RESULTADOS

8.3.1. Análisis del *Número de errores*

De las doce condiciones experimentales con que trabajamos —resultado de combinar las variables *Grado de congruencia*, *Tipo de operación* y *Tipo de respuesta*— tuvimos que eliminar del análisis aquéllas que recogían el número de errores ante estímulos de incongruencia alta. El motivo fue que la variable *Número de errores* no presentaba suficiente variabilidad ante este tipo de estímulos: la mayoría de los participantes no cometía ningún error ante las incongruencias altas. En consecuencia, el análisis del número de errores para la variable *Grado de congruencia* se limitó a los estímulos congruentes y de incongruencia baja. Finalmente el análisis del número de errores se realizó considerando como factor de medidas repetidas las ocho condiciones experimentales restantes.

La prueba de Friedman puso de manifiesto la existencia de diferencias estadísticamente significativas en el número de errores que se producía bajo cada una de las condiciones experimentales, $\chi^2(7, N = 14) = 24.8, p = 0.001$. Los contrastes parciales mostraron que no había diferencias en el número de errores para los distintos tipos de estímulos en la condición de no-respuesta; no obstante, sí se encontraron diferencias entre estímulos en la condición de respuesta. En este caso, tres comparaciones alcanzaron significación estadística: 1ª, contraste entre congruencia e incongruencia baja en suma, $Z = -2.72, p = 0.006$; 2ª, contraste entre congruencia e incongruencia baja en resta, $Z = -2.69, p = 0.007$; 3ª, contraste entre congruencia-suma e incongruencia-baja-resta, $Z = -2.94, p = 0.003$. En definitiva, parece que no hay diferencias entre los distintos tipos de estímulos cuando no se requiere del sujeto una respuesta manifiesta; por el contrario, al pedir una respuesta manifiesta al sujeto encontramos que se produce un mayor número de errores ante las incongruencias bajas que ante las congruencias. Por otra parte, la variable *Tipo de operación* no afectaría al número de errores. En la Tabla 8.1 mostramos los promedios y errores estándar del número de errores para cada condición experimental.

Tabla 8.1. Media y error estándar (entre paréntesis) del número de errores para todas las condiciones experimentales.

	Suma			Resta		
	Congruencia	Incongruencia baja	Incongruencia alta	Congruencia	Incongruencia baja	Incongruencia alta
Respuesta	1.57 (.75)	3.57 (.82)	.57 (.17)	2.35 (.81)	5.85 (1.56)	.21 (.11)
No-respuesta	2.78 (.57)	3.14 (.89)	.21 (.11)	2.92 (.54)	4.50 (.77)	.00 (.00)

8.3.2. Análisis de los ERPs

Puesto que, como veremos más adelante, el análisis de datos evidenció que la variable *Tipo de respuesta* no influía sobre el voltaje en ninguna de las ventanas analizadas, sólo presentamos los grandes promedios para los distintos grados de congruencia en la condición de suma y en la condición de resta, en las cuales sí se encontraron diferencias. Estos promedios se encuentran en las Figuras 8.2 y 8.3 (en la parte inferior de estas figuras hemos incorporado las ondas diferencia). Para poder inspeccionar con más facilidad las diferencias entre las condiciones de congruencia e incongruencia alta, presentamos, también, en la Figura 8.4, los gráficos anteriores pero eliminando la línea correspondiente a la incongruencia baja. En la Figura 8.5 presentamos los grandes promedios para la condición de congruencia e incongruencia baja⁵.

A través de la inspección de estos grandes promedios podemos constatar cómo al presentar un número que guarda una relación de incongruencia alta con la serie, se manifiesta una onda negativa con pico dentro del intervalo de 250 y 300 ms, seguida de una onda positiva lenta con pico entre los 500 y 600 ms. Cuando se presenta una incongruencia baja con la serie, también aparece una onda negativa, similar a la observada ante las incongruencias altas —aunque más sostenida—, pero que, en este caso, no va seguida de una onda positiva de tanta amplitud. Finalmente, por lo que se refiere a las congruencias, se observa un pico negativo, algo más temprano y de menor amplitud que el que se manifiesta ante las incongruencias, seguido de una onda positiva con pico en los 300 ms. El patrón de

⁵ En este caso, para facilitar la valoración de las diferencias hemos cambiado la escala del voltaje respecto a los gráficos anteriores.



Figura 8.2. *Arriba:* Grandes promedios para los distintos tipos de congruencia en la condición de suma. *Abajo:* Ondas diferencia para la condición de suma. Se calcularon restando de los ERPs registrados en la condición de congruencia aquellos registrados en cada uno de los otros tres tipos de estímulo.



Figura 8.3. Arriba: Grandes promedios para los distintos tipos de congruencia en la condición de resta.

Abajo: Ondas diferencia para la condición de resta. Se calcularon restando de los ERPs registrados en la condición de congruencia aquellos registrados en cada uno de los otros tres tipos de estímulo.

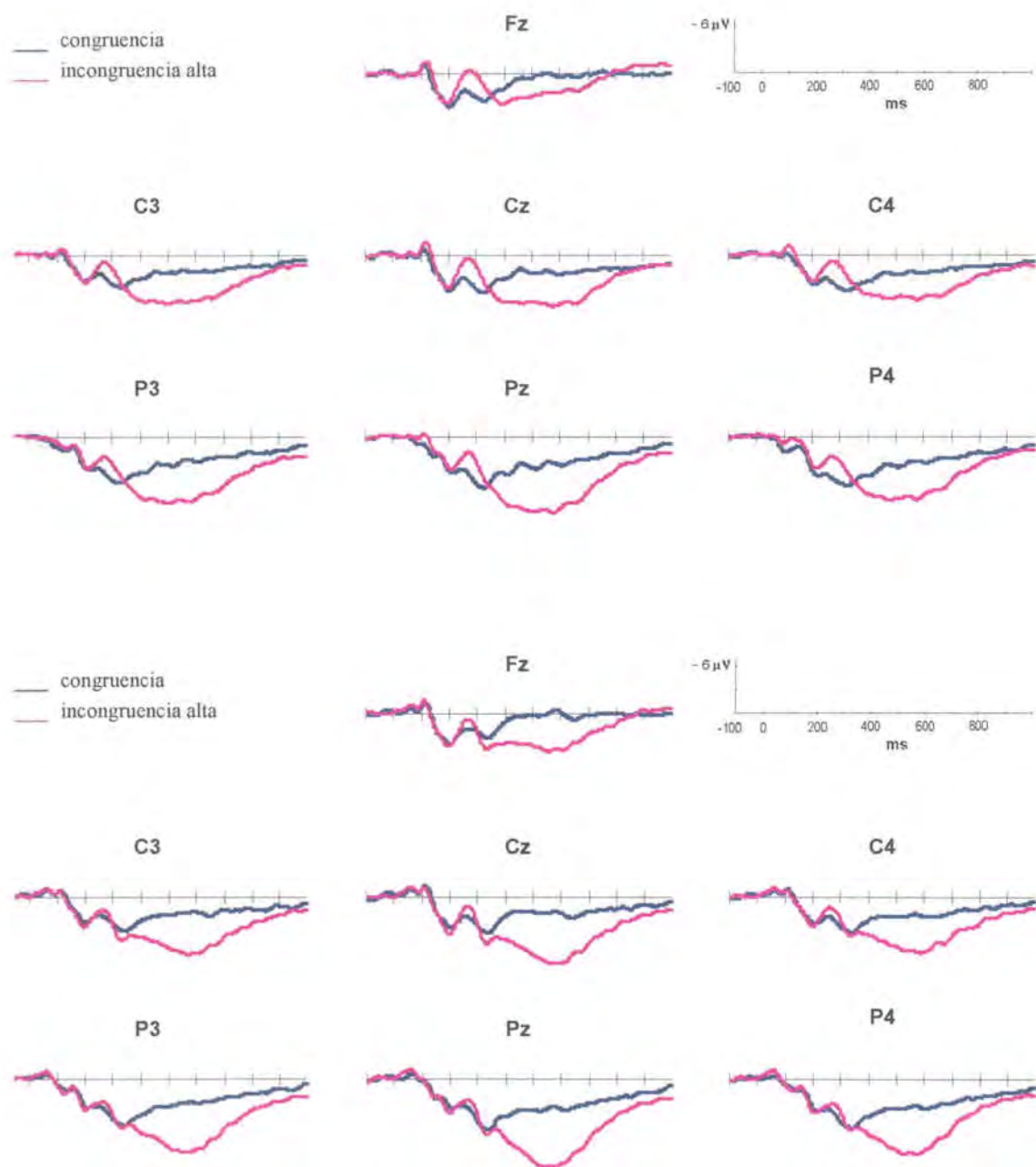


Figura 8.4. Arriba: Grandes promedios para los estímulos congruentes y de incongruencia alta en la condición de suma.

Abajo: Grandes promedios para los estímulos congruentes y de incongruencia alta en la condición de resta.



Figura 8.5. Arriba: Grandes promedios para los estímulos congruentes y de incongruencia baja en la condición de suma.

Abajo: Grandes promedios para los estímulos congruentes y de incongruencia baja en la condición de resta.

Tabla 8.2. Resultados del ANOVA para los efectos *Grado de congruencia*, *Tipo de operación* y *Tipo de respuesta* con los datos brutos.

Tiempo (ms)	Grado de congruencia			Tipo de operación			Tipo de respuesta		
	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
250-300	9.579 ^a	.001***	.424	.544 ^a	.474	.040	5.467 ^a	.036*	.296
300-350	10.478 ^a	.000***	.446	8.033 ^a	.014*	.382	4.484 ^a	.054	.256
350-400	13.260 ^a	.000***	.505	1.168 ^a	.299	.082	2.734 ^a	.122	.174
400-450	29.483 ^a	.000***	.694	.291 ^a	.599	.022	2.407 ^a	.145	.156
450-500	42.249 ^a	.000***	.765	4.653 ^a	.050*	.264	1.859 ^a	.196	.125
500-600	43.245 ^a	.000***	.769	7.189 ^a	.019*	.356	.728 ^a	.409	.053
600-700	27.847 ^a	.000***	.682	4.686 ^a	.050*	.265	.248 ^a	.627	.019
700-800	8.796 ^a	.001***	.404	2.649 ^a	.128	.169	2.097 ^a	.171	.139

^a esfericidad asumida; ^b corrección de Greenhouse-Geisser.

.05 ? *p* > .01; **.01 ? *p* > .001, *** *p* ? .001

Tabla 8.3. Resultados del ANOVA con los datos brutos para los efectos interactivos que no incluyen el factor *Localización*.

Tiempo (ms)	Grado x Operación			Grado x Respuesta			Operación x Respuesta		
	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
250-300	4.576 ^a	.020*	.260	.851 ^a	.438	.061	1.190 ^a	.295	.084
300-350	6.555 ^b	.013*	.335	.255 ^b	.705	.019	.408 ^a	.534	.030
350-400	3.736 ^b	.056	.223	.848 ^b	.409	.061	.000 ^a	1.000	.000
400-450	3.316 ^a	.052	.203	1.718 ^b	.211	.117	.049 ^a	.828	.004
450-500	1.893 ^a	.171	.127	2.495 ^a	.128	.161	.129 ^a	.726	.010
500-600	3.030 ^a	.066	.189	1.026 ^a	.373	.073	.445 ^a	.516	.033
600-700	1.407 ^a	.263	.098	.210 ^a	.812	.016	.722 ^a	.411	.053
700-800	.412 ^a	.667	.031	.419 ^a	.662	.031	.083 ^a	.778	.006

^a esfericidad asumida; ^b corrección de Greenhouse-Geisser.

.05 ? *p* > .01; **.01 ? *p* > .001, *** *p* ? .001

Nota: no se incluyen los resultados del ANOVA para la interacción de segundo orden (*Grado x Operación x Respuesta*) puesto que no alcanzó significación estadística en ninguna de las ventanas analizadas.

Tabla 8.4. Resultados del ANOVA para los efectos interactivos en que se incluye el factor *Localización*.

Tiempo (ms)	Grado x Localización			Operación x Localización			Respuesta x Localización		
	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
250-300	2.434 ^b	.062	.158	1.550 ^b	.232	.107	2.911 ^b	.043*	.183
300-350	2.634 ^b	.045*	.168	.596 ^b	.567	.044	2.580 ^b	.079	.166
350-400	2.489 ^b	.061	.161	.280 ^b	.827	.021	4.881 ^b	.012*	.273
400-450	4.133 ^b	.007**	.241	.352 ^b	.730	.026	5.178 ^b	.004**	.285
450-500	7.386 ^b	.000***	.362	1.081 ^b	.363	.077	5.670 ^b	.002**	.304
500-600	9.984 ^b	.000***	.434	.995 ^b	.395	.071	1.837 ^a	.103	.124
600-700	7.509 ^b	.000***	.366	.829 ^b	.464	.060	3.609 ^b	.014*	.217
700-800	3.422 ^b	.026*	.208	1.665 ^b	.202	.114	2.996 ^b	.045*	.187

^a esfericidad asumida; ^b corrección de Greenhouse-Geisser.

.05 ? *p* > .01; **.01 ? *p* > .001, *** *p* ? .001

Nota: no se incluyen los resultados del ANOVA para las interacciones de segundo y tercer orden puesto que en ellas ninguna de las ventanas analizadas alcanzó significación estadística.

Tabla 8.5. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) para los distintos grados de congruencia en todas las ventanas analizadas.

	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500	500-600	600-700	700-800
Congruencia	4.63 (.61)	6.27 (.81)	5.22 (.71)	4.08 (.56)	3.32 (.51)	3.13 (.62)	3.00 (.58)	2.26 (.52)
Incongruencia baja	3.00 (.48)	3.95 (.59)	4.65 (.71)	5.39 (.97)	5.71 (.77)	5.57 (.93)	4.92 (.78)	3.39 (.62)
Incongruencia alta	2.50 (.65)	5.61 (.75)	7.16 (1.00)	8.12 (.79)	8.81 (.91)	9.44 (.88)	8.34 (.86)	5.42 (.76)

Tabla 8.6. Media (en μV) y error estándar (entre paréntesis) para los distintos grados de congruencia y tipos de operación en las ventanas de 250-300 y de 300-350.

	250-300			300-350		
	Congruencia	Incongruencia baja	Incongruencia alta	Congruencia	Incongruencia baja	Incongruencia alta
Suma	5.01 (.58)	2.84 (.52)	1.95 (.78)	6.37 (.80)	3.23 (.60)	4.44 (.88)
Resta	4.25 (.75)	3.15 (.53)	3.05 (.59)	6.17 (.86)	4.67 (.72)	6.77 (.76)
Diferencia	0.76	-0.31	-1.1	0.2	-1.44	-2.33

ERPs que hemos descrito anteriormente tiene características similares en la condición de suma y en la condición de resta, no obstante, vemos cómo las diferencias en la amplitud de la onda N270 al comparar la incongruencia alta con la congruencia son más marcadas cuando la operación requerida a los sujetos es una suma.

8.3.2.1. N400

Los resultados del ANOVA para las distintas ventanas analizadas se encuentran en las Tablas 8.2, 8.3 y 8.4. En la Tabla 8.2 mostramos los resultados del análisis de los efectos principales; en la Tabla 8.3 aparecen los resultados para los efectos interactivos que no incorporan el factor *Localización*; finalmente, la Tabla 8.4 contiene los efectos interactivos en los que se incluye el factor *Localización*.

La variable *Grado de congruencia* alcanzó significación estadística en todas las ventanas analizadas: $F(2,26) = 9.57$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.42$, en la ventana 250-300; $F(2,26) = 10.47$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.45$, en la ventana 300-350; $F(2,26) = 13.26$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.50$, en la ventana 350-400; $F(2,26) = 29.48$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.69$, en la ventana 400-450; y, $F(2,26) = 42.25$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.76$, en la ventana 450-500. Destaca el hecho de que el tamaño del efecto vaya incrementado a lo largo de las ventanas y alcance valores especialmente elevados en las dos últimas, donde la cantidad de variancia de la variable dependiente explicada por el grado de congruencia es del 69% y 76%, respectivamente. Puesto que, en definitiva, nos interesaba delimitar las diferencias concretas que se daban entre los distintos grados de congruencias, llevamos a cabo contrastes parciales apareados entre todos los niveles de esta variable. Los resultados revelaron unas diferencias en voltaje entre los distintos grados de congruencia muy similares en las ventanas comprendidas entre 350 y 500 ms, sin embargo, el patrón de voltaje fue distinto en las otras dos ventanas analizadas. A continuación detallamos los resultados obtenidos.

En la ventana de 250 a 300 ms el voltaje fue más negativo para incongruencia alta y la incongruencia baja que para la congruencia: $F(1,13) = 16.73$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.56$, en el contraste entre incongruencia alta y congruencia, y $F(1,13) = 7.84$, $p = 0.015$, $\eta^2 = 0.37$, en el contraste entre incongruencia baja y congruencia. En esta ventana no se encontraron diferencias al comparar el voltaje de los dos tipos de incongruencias. En la ventana de 300 a 350 ms sólo se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas al comparar los estímulos congruentes con los de incongruencia baja, $F(1,13) = 14.63$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.53$; estas diferencias se traducen en un voltaje más negativo para la incongruencia baja que para la congruencia. Respecto de la incongruencia alta, a pesar de que los contrastes con los otros dos tipos de estímulos no alcanzaron significación estadística, vemos cómo presenta un voltaje intermedio entre la congruencia y la incongruencia baja. Finalmente, por lo que se refiere a las ventanas comprendidas entre los 350 y los 500 ms, ya hemos comentado que en todas ellas se observó un patrón de voltaje muy similar. En concreto, en la ventana de 350-400 el voltaje fue más positivo para la incongruencia alta que para la congruencia y la incongruencia baja — $F(1,13) = 14.31$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.52$, en el contraste entre incongruencia alta y

congruencia, y $F(1,13) = 19.86$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.60$, en el contraste entre incongruencia alta y baja—; no hubo diferencias al comparar los estímulos congruentes con los de incongruencia baja. En las otras dos ventanas analizadas —entre 400 y 500 ms—, sin embargo, todos los contrastes apareados que realizamos alcanzaron un nivel de significación inferior a 0.006: se observa cómo el voltaje es más positivo para la incongruencia alta, intermedio para la incongruencia baja, y más negativo para la congruencia. A modo de resumen podemos decir que en las ventanas que comprenden el intervalo de los 250 a los 500 ms hay tres patrones de actividad eléctrica diferencial: 1º, hasta los 300 ms el voltaje es más negativo para las incongruencias que para la congruencia; 2º, entre los 300 y los 350 ms se observa un cambio en el voltaje para las incongruencias altas, las cuales muestran un voltaje más positivo que en la ventana anterior, no advirtiéndose ningún cambio de voltaje ni para la congruencia ni para las incongruencias bajas; 3º, entre los 350 y los 500 ms, vemos cómo el voltaje es más positivo para las incongruencias altas que para las incongruencias bajas y las congruencias. En la Tabla 8.5 mostramos la amplitud promedio para cada una de las ventanas analizadas.

El efecto principal de la variable *Tipo de operación* sólo alcanzó significación estadística en las ventanas de 300-350 ms y de 450-500: $F(1,13) = 8.03$, $p = 0.014$, $\eta^2 = 0.38$, y, $F(1,13) = 4.65$, $p = 0.05$, $\eta^2 = 0.26$, respectivamente. En ambos casos se observa que el voltaje es más positivo cuando se presenta una serie descendente (resta) que cuando ésta es ascendente (suma). Además, en las ventanas comprendidas entre 250 y 350 ms la variable *Tipo de operación* interactuaba con el grado de congruencia — $F(2,26) = 4.57$, $p = 0.02$, $\eta^2 = 0.26$, en la ventana 250-300, y $F(2,26) = 6.55$, $p = 0.013$, $\varepsilon = 0.70$, $\eta^2 = 0.33$, en la ventana 300-350—. El análisis de los efectos simples mostró que las diferencias entre sumas y restas —mayor positividad en las últimas— sólo eran estadísticamente significativas si el número presentado era una incongruencia alta (en el intervalo entre 250 y 350 ms) o una incongruencia baja respecto de la serie (sólo para la ventana de 300-350). No hubo, en cambio, diferencias entre ambas operaciones aritméticas cuando el número que completaba la serie era congruente. En la Tabla 8.6 se encuentra el voltaje promedio y su correspondiente error estándar para los distintos grados de congruencia y tipos de operación en las ventanas donde la interacción entre ambas variables alcanzó significación estadística.

Por lo que se refiere al efecto principal de la variable *Tipo de respuesta*, sólo alcanzó significación estadística en la ventana de 250 a 300 ms, $F(1,13) = 5.46$, $p = 0.036$, $\eta^2 = 0.29$. En concreto se observa cómo en esta ventana el voltaje fue más positivo en la condición de respuesta que en la condición de no-respuesta. No obstante, no se encontraron diferencias en el resto de las ventanas analizadas. Además, las interacciones de este factor con las variables *Grado de congruencia* y *Tipo de operación*, tampoco alcanzaron significación estadística en ninguna de las ventanas.

El análisis de los efectos interactivos que incluyen el factor *Localización* nos permitió detectar una interacción significativa entre esta variable y el *Grado de congruencia* en tres de las ventanas analizadas: $F(12,156) = 2.63$, $p = 0.045$, $\varepsilon = 0.32$, $\eta^2 = 0.16$ en la ventana de 300-350; $F(12,156) = 4.13$, $p = 0.007$, $\varepsilon = 0.30$, $\eta^2 = 0.24$ en la ventana de 400-450; $F(12,156) = 7.38$, $p < 0.000$, $\varepsilon = 0.31$, $\eta^2 = 0.36$ en la ventana de 450-500. Mediante el análisis de los efectos simples pudimos comprobar que las diferencias en el voltaje para los distintos grados de congruencias se daban principalmente en las localizaciones centro-parietales. Concretamente los resultados mostraron lo siguiente. En la ventana de 300-350, hubo diferencias entre ambos tipos de incongruencia en C3, P3, Cz y Pz, mientras que al comparar congruencia e incongruencia baja se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en C4, P3, P4, Cz y Pz (en todos los casos el voltaje fue más negativo para la incongruencia baja que para los otros dos tipos de estímulos —congruencia e incongruencia alta—, para los cuales no se encontraron diferencias). En la ventana de 400-450, al comparar congruencia e incongruencia alta se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todas las localizaciones; entre congruencia e incongruencia baja en C3, P3, Cz y Pz; y entre ambos tipos de incongruencia en todas las localizaciones excepto en Fz (en todos los casos el voltaje fue más positivo en la incongruencia alta, intermedio para la incongruencia baja y más negativo para congruencia). Finalmente, en la ventana de 450-500, el análisis de los efectos simples detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de estímulos en todas las ventanas analizadas; en este caso, el patrón de voltaje fue el mismo que hemos comentado para la ventana anterior. Resumiendo, los resultados han mostrado lo siguiente: si bien en el intervalo comprendido entre los 450 y los 500 ms las diferencias entre los tres tipos

de incongruencia alcanzan significación estadística en todas las localizaciones analizadas, en las ventanas de 300-350 y de 400-450, en cambio, tales diferencias se observan únicamente en localizaciones centro-parietales.

No sólo la interacción *Grado de congruencia* x *Localización* alcanzó significación estadística, sino que también la alcanzó la interacción *Tipo de respuesta* x *Localización*. En este caso, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuatro de las ventanas analizadas: $F(6,78) = 2.91$, $p = 0.043$, $\varepsilon = 0.52$, $\eta^2 = 0.18$ en la ventana de 250-300; $F(6,78) = 4.88$, $p = 0.012$, $\varepsilon = 0.38$, $\eta^2 = 0.27$ en la ventana de 350-400; $F(6,78) = 5.17$, $p = 0.004$, $\varepsilon = 0.49$, $\eta^2 = 0.28$ en la ventana de 400-450; $F(6,78) = 5.67$, $p = 0.002$, $\varepsilon = 0.51$, $\eta^2 = 0.30$ en la ventana de 450-500. El análisis de los efectos simples puso de manifiesto lo siguiente: en las dos primeras ventanas el voltaje era más positivo en la condición de respuesta que en la condición de no-respuesta en las localizaciones P4 y Pz, mientras que para las ventanas comprendidas entre los 400 y los 500 ms estas diferencias sólo alcanzaron significación estadística en Pz.

8.3.2.2. P600

Los resultados del ANOVA para las distintas ventanas analizadas se encuentran en las Tablas 8.2, 8.3 y 8.4.

La variable *Grado de congruencia* alcanzó significación estadística en todas las ventanas analizadas: $F(2,26) = 43.24$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.76$, en la ventana 500-600; $F(2,26) = 27.84$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.68$, en la ventana 600-700; $F(2,26) = 8.79$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.40$, en la ventana 700-800. Destacan, de nuevo, para esta variable, los elevados tamaños del efecto que se han obtenido para las dos primeras ventanas. Los contrastes parciales evidenciaron unas diferencias en el patrón de voltaje muy parecidas en las tres ventanas analizadas. En efecto, en todas ellas se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre congruencia e incongruencia alta, congruencia e incongruencia baja, e incongruencia alta y baja. En definitiva, el patrón de voltaje observado en estas ventanas fue el mismo que en las ventanas comprendidas entre los 400 y los 500 ms, y que ya hemos comentado en el epígrafe anterior: voltaje más positivo para la incongruencia alta, intermedio para la incongruencia baja y más negativo para la

congruencia. La Tabla 8.5 contiene la amplitud promedio para cada una de las ventanas analizadas.

Por lo que se refiere a la variable *Tipo de operación* encontramos diferencias estadísticamente significativas en las ventanas de 500-600 y de 600-700: $F(1,13) = 7.19$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.35$, y $F(1,13) = 4.68$, $p = 0.05$, $\eta^2 = 0.26$, respectivamente. En ambos casos el voltaje fue más positivo en las restas que en las sumas. Por otra parte, la interacción de este factor con las variables *Grado de congruencia* y *Tipo de respuesta* no alcanzó significación estadística en ningún caso.

Respecto de los efectos interactivos que incluyen el factor *Localización*, encontramos diferencias estadísticamente significativas para *Grado de congruencia* x *Localización* en las tres ventanas analizadas: $F(12,156) = 9.98$, $p < 0.000$, $\varepsilon = 0.31$, $\eta^2 = 0.36$ en la ventana de 500-600; $F(12,156) = 7.51$, $p < 0.000$, $\varepsilon = 0.28$, $\eta^2 = 0.36$ en la ventana de 600-700; $F(12,156) = 3.42$, $p = 0.026$, $\varepsilon = 0.25$, $\eta^2 = 0.21$ en la ventana de 700-800. El análisis de los efectos simples puso de manifiesto un patrón de voltaje muy similar al que se había observado en las ventanas comprendidas entre los 300 y los 500 ms. En definitiva, encontramos que, otra vez, las diferencias en función del *Grado de congruencia* se manifestaban principalmente en localizaciones centro-parietales. En concreto los resultados fueron éstos. En la ventana de 500-600, los estímulos de incongruencia alta con la serie mostraron un voltaje más positivo que los otros dos tipos de estímulos —congruentes y de incongruencia baja— en todas las localizaciones analizadas; por otra parte, los estímulos de incongruencia baja también diferían de los congruentes —mayor positividad para los primeros— en las localizaciones C3, P3, P4, Cz y Pz. En la ventana de 600-700, los resultados fueron similares a los obtenidos en la ventana anterior: diferencias entre estímulos de incongruencia alta y los otros dos tipos de estímulos en todas las localizaciones, y entre estímulos de incongruencia baja y congruentes en P3, P4 y Pz. De nuevo, se observó un voltaje más positivo para la incongruencia alta, intermedio para la incongruencia baja y más positivo para la congruencia. Por último, en la ventana de 700-800, las diferencias entre congruencia e incongruencia alta alcanzaron significación estadística en todas las localizaciones, excepto Fz; las diferencias entre congruencia e incongruencia media se encontraron sólo en P3 y P4; y las diferencias entre los dos tipos de

incongruencia en C3, C4 y Cz (en esta ventana el patrón de voltaje fue el mismo que el hemos comentado para el intervalo de 500 a 700 ms).

Finalmente, también encontramos diferencias estadísticamente significativas para la interacción *Tipo de respuesta* x *Localización* en las ventanas 600-700 y 700-800: $F(6,78) = 3.61$, $p = 0.014$, $\varepsilon = 0.61$, $\eta^2 = 0.21$, para la primera ventana; $F(6,78) = 2.99$, $p = 0.045$, $\varepsilon = 0.47$, $\eta^2 = 0.19$, para la segunda. El análisis de los efectos simples para la ventana 600-700 no detectó diferencias entre los dos tipos de respuesta en ninguna de las localizaciones analizadas. En cambio, al analizar la ventana 700-800 se encontró que el voltaje era más positivo en la condición de no-respuesta que en la respuesta en la localización Fz.

8.4. DISCUSIÓN

Nuestros resultados han revelado la existencia de un patrón de ERPs diferencial para cada grado de congruencia. Hemos visto que al completar una serie numérica con un número muy distinto de aquél que la completaría de forma correcta, aparece, primero, una onda negativa con pico aproximadamente en los 270 ms, y, a continuación, una onda positiva tardía, que presenta máxima amplitud entre los 500 y los 600 ms. Por el contrario, cuando se mostraba a los participantes un número muy similar al que completaría la serie de forma correcta, se observó un pico negativo, semejante al que se dio en el caso anterior, aunque un poco más sostenido, seguido de una onda positiva tardía, de menor amplitud que la que se manifestaba ante incongruencias altas. Por último, pudimos constatar que ante las congruencias, en cambio, ni se producía una onda negativa temprana de tanta amplitud como la observada ante las incongruencias, ni se manifestó una onda positiva de latencia tan tardía. Este patrón de ERPs presentó algunas diferencias al comparar las dos operaciones aritméticas con las que trabajamos, principalmente por lo que refiere a la negatividad temprana. Respecto a esto, recordemos que la interacción *Tipo de congruencia* x *Tipo de operación* alcanzó significación estadística en el intervalo comprendido entre los 250 y 350 ms, poniendo de manifiesto que la negatividad temprana ante las incongruencias presentó mayor amplitud si la operación requerida era una suma que si ésta era una resta.

En definitiva, nuestros resultados son similares a los reportados por Wang et al. (2000). Si estos autores encontraron una onda N270 al presentar distintas operaciones aritméticas que aparecían seguidas de un resultado incorrecto, en nuestro caso, una onda parecida se ha manifestado al presentar un número que continúa a una serie de números de forma incongruente. Ambas ondas no sólo coinciden en latencia y en el tipo de manipulación experimental que las provoca, sino que, también, coinciden en que ambas van seguidas por un componente positivo tardío. La única diferencia entre la negatividad observada en nuestro experimento y la reportada por Wang et al. radica en su distribución topográfica: ampliamente distribuida en nuestro caso⁶, central y occipital en el suyo.

Si bien Wang et al. se refieren a la onda N270 diciendo que *the meaning of the numbers is the reason for this component* (Wang et al., 2000, p. 1197), añadiendo que se trata de un potencial distinto del componente N200, en nuestra opinión, no se dan suficientes razones para descartar que la negatividad observada ante este tipo de estímulos no sea, en realidad, un componente N200. Son dos las razones que justifican esta afirmación: una, el hecho de que la onda N270 aparezca al presentar un estímulo que se desvía del contexto; otra, el que vaya seguida de una onda positiva tardía. En este sentido, lo más probable es que nos encontremos ante el complejo N2-P3, el cual se manifiesta ante la presentación de estímulos inesperados y se asocia habitualmente a incongruencias de tipo físico (Escera, comunicación personal, Mayo, 2001; Näätänen, 1992). En nuestro caso, no se trata de incongruencias de tipo físico sino de incongruencias numéricas, y es precisamente éste el motivo que podría justificar la diferencia de latencia que hay entre el N2-P3 físico y el N270-P600 numérico. Consideramos que, en definitiva, nos encontramos ante el complejo N2-P3, indicador de la detección de una incongruencia, cuya latencia se demora al incrementar la dificultad de la tarea. En suma, discrepamos de la opinión de Wang et al. acerca de que la onda N270 sea un nuevo componente asociado al procesamiento aritmético.

Si bien nuestros resultados son similares a los obtenidos por Wang et al., no lo son, en cambio, a los de Niedeggen y Rösler (1999) y Niedeggen et al. (1999). Estos autores encontraron una onda tipo N400, semejante al N400 semántico en

⁶ Recordemos que la interacción *Grado de congruencia x Localización* no alcanzó significación estadística en la ventana comprendida entre los 250 y los 300 ms.

latencia y topografía, al presentar resultados incorrectos en multiplicaciones. Además, la amplitud de este componente variaba en función del grado de incongruencia que el número presentado mantenía con la operación aritmética. Con todo, Niedeggen et al. concluyen que existe un N400-aritmético. Aunque podría pensarse que estos resultados y los nuestros son contradictorios, creemos que hay una posible explicación. Se trata del hecho de que el tipo de tarea en ambos casos fue distinto: mientras que nosotros presentábamos series de números ascendentes o descendentes que podían completarse con un número correcto o incorrecto, Niedeggen et al., en cambio, utilizan multiplicaciones. En su caso, el tipo de tarea podría considerarse más compleja, lo cual justificaría la diferencia de resultados.

En relación con lo anterior, nuestro experimento ha mostrado diferencias al comparar los dos tipos de incongruencias. Cuando se presentaba un número muy alejado del número correcto —incongruencia alta— las diferencias en voltaje respecto de la condición de congruencia sólo se observaron en la ventana de 250-300 ms. Sin embargo, al presentar un número cercano al correcto —incongruencia baja—, esas diferencias se prolongaban hasta los 350 ms. En definitiva, la negatividad que aparece ante las incongruencias bajas es más sostenida. Dado que puede considerarse más fácil decidir que es incorrecto un número de incongruencia alta que en un número de incongruencia baja, podría interpretarse que la negatividad que aparece ante incorrecciones poco evidentes se prolonga por la dificultad. De hecho, nuestro análisis ha mostrado que el número de errores aumenta ante las incongruencias bajas en relación con las incongruencias altas, hecho que confirmaría la mayor dificultad de la tarea ante el primer tipo de incongruencia. En nuestra opinión sería útil realizar un nuevo experimento en el se presentaran incongruencias en operaciones aritméticas de dificultad creciente, a fin de comprobar si ante un resultado incongruente se producen, dependiendo del grado de dificultad de la operación aritmética, variaciones en la latencia de esta onda negativa. De esta manera, se conseguirían evidencias acerca de si todas estas negatividades que aparecen ante incongruencias aritméticas son, en suma, un N2-P3 cuya latencia se va demorando por la dificultad. Se podrá objetar que en nuestro experimento ya hemos presentado operaciones aritméticas diferentes y no hemos encontrado diferencias en la latencia de la onda negativa, no obstante, queremos recordar que, en nuestro caso, tanto las sumas como las restas eran muy sencillas —recordemos que no hubo diferencias entre ellas al comparar el número de

errores—, por lo tanto parece lógico que en este caso no aparecieran diferencias en latencia.

9. CONCLUSIONES

Antes de adentrarnos en las conclusiones generales de esta investigación nos vamos a detener un instante para recordar cuál fue el motivo que nos impulsó a realizarla. Básicamente se trataba del desconcierto que hay acerca de la naturaleza del componente N400, puesto que si en muchas investigaciones se afirma que es un componente específico del procesamiento semántico, en otras, en cambio, se han encontrado ondas negativas similares al presentar incongruencias no relacionadas con los significados de los estímulos. En suma, el objetivo que orientó nuestro trabajo fue determinar si el componente N400 es, en efecto, un indicador del grado de incongruencia semántica, o si, por el contrario, es un indicador de la incongruencia en general. Además, también nos interesó estudiar la incidencia que podía tener sobre el patrón de ERPs el hecho de pedir a los participantes una respuesta manifiesta, especialmente por lo que refiere al posible solapamiento entre los componentes N400 y P300 —en muchas ocasiones se ha dicho que la amplitud del N400 se verá atenuada si este componente se solapa con el componente P300—.

Dado que lo que perseguíamos era un objetivo doble, vamos a presentar las conclusiones del trabajo organizadas en dos bloques: 1º, conclusiones respecto a la naturaleza del componente N400; 2º, conclusiones relacionadas con el efecto que tiene sobre los ERPs el hecho de emitir una respuesta manifiesta. Tras estas conclusiones, expondremos un comentario general sobre la investigación con ERPs, así como algunas propuestas que, en nuestra opinión, facilitarían la comparación de los resultados obtenidos en distintos experimentos.

9.1. Naturaleza del componente N400

Para estudiar la naturaleza del componente N400 hemos realizado una serie de experimentos en los cuales se presentaron distintos tipos de incongruencias —semánticas y no-semánticas—. Lo que pretendíamos con esto era, en definitiva, comparar las distintas ondas que se manifestaron, especialmente las negatividades en el rango de los 400 ms.

De los cuatro experimentos que realizamos, hubo dos en los que se observó el componente N400, mientras que en el resto no hubo señal del mismo. Las situaciones en las que este componente se manifestó fueron las siguientes: por una parte, en aquéllas en las que se presentaba a los participantes una palabra que no pertenecía a una categoría semántica previamente definida —ya se ha comentado que este resultado está en la línea de los obtenidos en muchas investigaciones, donde este componente aparece siempre que se presenta una incongruencia semántica—; por otra parte, en aquéllas en las que al presentar una palabra que completaba la sentencia con un dato incorrecto respecto a una información arbitraria que el sujeto había aprendido expresamente en el laboratorio, observamos una onda negativa de latencia y topografía muy similar a la anterior —dicho de otro modo, el componente N400 emergía, también, al presentar sentencias falsas—. En ambos casos, el componente N400 está asociado a la presentación de una información incongruente con el contexto precedente, ya sea una serie de palabras relacionadas semánticamente entre sí, ya sea una sentencia que recoge información conocida por el sujeto. En definitiva, los resultados de estas dos investigaciones sugieren que el componente N400 podría ser un indicador de discordancia entre la información que prepara un individuo respecto de un contexto precedente y aquélla que, en efecto, se le presenta. Además, este componente aparece tanto si la incongruencia se refiere a una información almacenada en la memoria semántica —conocimiento general sobre el mundo— como si esta incongruencia hace alusión a contenidos de la memoria episódica —conocimiento personal de un individuo—.

Si bien ante los dos tipos de incongruencia que hemos comentado en el párrafo anterior se observó la presencia del componente N400, no hubo, en cambio, señal

del mismo en las otras dos situaciones con las que trabajamos. Nos referimos, en concreto, a los resultados obtenidos en nuestros experimentos con la tarea tipo Stroop y con las series de números. En el primero hemos visto cómo al presentar una palabra que denota un color, escrita en tinta de un color distinto de aquel que denota, lejos de encontrar un N400, ha aparecido, en su lugar, una onda negativa lenta. Se trata de una negatividad que comienza a diferenciarse del voltaje de los estímulos congruentes aproximadamente en los 300 ms, cuyas diferencias se prolongan hasta los 600 ms, y que presenta máximas diferencias entre los 450 y los 500 ms. Llegamos a la conclusión de que esta onda no era el componente N400, puesto que presentaba respecto de éste claras diferencias en latencia y topografía. Por lo que se refiere al experimento con series de números, pudimos comprobar que la presentación de una cifra que continúa de forma incorrecta a una serie tampoco provocaba la manifestación del componente N400. Aparecía, en cambio, una onda negativa temprana con pico entre los 250 y los 300 ms, seguida de un prominente pico positivo tardío de máxima amplitud en torno a los 600 ms. Con todo, los resultados obtenidos en estos dos experimentos parecen indicar que el componente N400 no es un indicador de la incongruencia en general: primero, porque no está asociado a la incongruencia numérica, y, segundo, porque no aparece al presentar una incongruencia entre una palabra y un color.

La conclusión principal de nuestro trabajo es la siguiente: el componente N400 es un indicador de la incongruencia que se produce entre la información que un individuo prepara respecto de un contexto y la información que, de hecho, se le presenta. Si efectivamente estamos ante un componente específico del procesamiento semántico o no, en nuestra opinión la respuesta ha de ser afirmativa, siempre que se entienda el concepto de procesamiento semántico en sentido amplio, y no en un sentido estrictamente lingüístico. Entendemos que también ha de considerarse incongruencia semántica cualquier incongruencia que tenga que ver con el conocimiento particular de cada individuo, por lo que habría que diferenciar entre campos semánticos universales, sobre los que hay consenso respecto de las palabras, de sus significados y de las relaciones que se establecen entre ellas a partir de sus significados, y campos semánticos particulares, donde cada individuo maneja la información desde un punto de vista estrictamente personal. Efectivamente, todo el mundo ve una clara relación semántica entre las palabras *naranja*, *mandarina*, *plátano*, *pera*, sin embargo, no todos compartirían las

concretas relaciones de significado que establece un individuo cuando relaciona palabras, hechos, situaciones, personas, relaciones que evidentemente sólo son comprensibles para él.

La definición que hemos ofrecido del componente N400 está totalmente de acuerdo con los resultados de las investigaciones que expusimos en el marco teórico de esta tesis, principalmente por lo que refiere a aquellas que vinculan el componente N400 al procesamiento semántico de la información. Volviendo a lo que allí se expuso, recordemos que en aquel momento diferenciamos entre investigaciones en las que se trabajaba en el contexto de sentencias y aquellas otras en que se utilizaban palabras aisladas. En uno y otro grupo concurren las dos circunstancias que parecen necesarias para que el componente N400 se manifieste: 1ª, la existencia de un contexto previo al ítem objetivo —sea una sentencia, sea una o varias palabras— que provoca un estado de preparación en el sujeto; 2ª, que se produzca alguna incongruencia vinculada al significado del estímulo.

Tampoco los resultados que obtuvimos en los experimentos de series de números y con la tarea tipo Stroop, contradicen nuestra definición del componente N400. En el primer caso, si bien se presentaba una incongruencia respecto a un contexto precedente, no se producía, en cambio, ningún conflicto semántico, dado que en aquella ocasión la tarea impuesta al sujeto consistía únicamente en aplicar una regla aritmética; en consecuencia, parece lógico que en aquella situación no se manifestara el componente N400. En cuanto a los resultados con la tarea tipo Stroop, el hecho de que el N400 no aparezca puede justificarse porque, en este caso, aunque en los estímulos se produce conflicto semántico entre la palabra y el color, la incongruencia se presenta dentro de un mismo estímulo, de manera que no hay un contexto precedente que lleve al individuo a preparar una información concreta.

9.2. Efecto de la emisión de una respuesta manifiesta

En nuestros experimentos, aparte de estudiar la influencia que la presentación de distintos tipos de incongruencia tenía sobre la actividad eléctrica cerebral, también hemos investigado cómo incidía sobre el patrón de ERPs el hecho de pedir o no una

respuesta manifiesta a los participantes. En definitiva, nos interesaba valorar si esta variable —*tipo de respuesta*— interactuaba con el *tipo de incongruencia*, en el sentido de que se produjera algún solapamiento entre componentes (básicamente, entre la negatividad provocada por la incongruencia y la onda positiva que suele aparecer cuando le pedimos a un individuo que emita una respuesta). Los resultados más destacables se obtuvieron en el experimento de categorías semánticas. Concretamente, observamos que el componente N400 se manifestaba tanto si debía decidirse acerca de la congruencia de la palabra presentada respecto de la serie anterior, como si solamente se tenía que leer el material. Además, la amplitud de este componente no se vio modificada por el hecho de tener o no que responder. Por el contrario, se encontraron diferencias al comparar las condiciones de respuesta y no-respuesta entre los 600 y los 800 ms, ya que, cuando se debía responder, apareció una onda positiva tardía tras las palabras que guardaban una relación de incongruencia alta con la categoría. En cuanto a este resultado, concluimos que esta onda positiva es el componente P300, el cual se vincula a tareas de decisión y a estímulos improbables.

Son dos las conclusiones que se desprenden del párrafo anterior: 1ª, el componente N400 aparece independientemente de que se decida acerca de la congruencia de la palabra respecto de la serie, por lo que se trata de un componente relativamente automático; 2ª, no se produce solapamiento entre los componentes N400 y P300 cuando se le pide a los sujetos que respondan en una tarea de categorización semántica, no obstante, dado que la latencia del componente P300 varía en función de la dificultad de la tarea, no sabemos si se producirá solapamiento ante tareas más sencillas.

También manipulamos la variable *Tipo de respuesta* en los experimentos que realizamos con la tarea tipo Stroop y con las series de números. En este caso la forma en que se manipuló esta variable no coincide con el modo en que se hizo en el experimento de categorías semánticas. Si en éste se realizaron dos sesiones, en una se presionaba una tecla para indicar si el estímulo presentado era congruente o incongruente con la serie anterior, y en otra simplemente se leía el material, en los otros experimentos, en cambio, se pidió a los participantes que respondieran en una sesión ante la congruencia, mientras que en la otra debían responder ante la incongruencia. Ciertamente en todos los casos se manipulaba el hecho de responder

o no, sin embargo, había una diferencia fundamental entre los tres experimentos: en el experimento de categorización semántica la condición de no-respuesta no requería la toma de decisiones, por el contrario, en los otros dos se decidía ante cada estímulo acerca de si se tenía que responder. En consecuencia, la información ofrecida por estos dos experimentos —series de números y tarea tipo Stroop— no era acerca del efecto que tiene sobre los ERPs la toma de decisiones sino, más bien, sobre cómo los potenciales de preparación de respuesta afectan al patrón de ERPs que nos interesaba analizar.

Puesto que nuestro interés era estudiar si estos potenciales de preparación incidían de alguna manera sobre aquellos provocados por los distintos tipos de incongruencia, nos centramos en el estudio de la interacción *Grado de congruencia x Tipo de Respuesta*. En este sentido, los resultados obtenidos en los experimentos con la tarea tipo Stroop y con las series de números no coinciden plenamente. Encontramos, por una parte, que en la tarea tipo Stroop el hecho de emitir o no una respuesta manifiesta no incide sobre el patrón de ERPs hasta los 500 ms; sin embargo, a partir de este momento se observó un prominente pico positivo, en la condición en la que no se debía responder, cuando el estímulo presentando era una incongruencia con palabra-color. Por otra parte, en el experimento con series de números la interacción *Grado de congruencia x Tipo de respuesta* no alcanzó significación estadística en ninguna de las ventanas que analizamos. Aunque los resultados de este experimento indican que la emisión de una respuesta manifiesta no incide sobre el patrón de ERPs producido por el procesamiento de las incongruencias, los resultados obtenidos en el experimento con la tarea tipo Stroop, en cambio, indican lo contrario. La disparidad de resultados alcanzados en los dos experimentos nos lleva a concluir que se requiere más investigación para determinar completamente el modo en que puede incidir el requisito de emisión de una respuesta manifiesta sobre el patrón de ERPs producido por el procesamiento de las incongruencias.

9.3. Comentario general sobre la investigación con ERPs

Para finalizar queremos destacar una serie de aspectos sobre la investigación con ERPs, los cuales, en nuestra opinión, son en buena parte responsables de la

confusión que hay en torno a la naturaleza del componente N400, así como de otros componentes.

1º. En muchas ocasiones se utiliza una misma terminología para designar cosas distintas. Nos referimos, en concreto, a que a veces los investigadores utilizan el término N400 en el sentido descrito por Donchin, Ritter y McCallum (1978), mientras que en otras se califica de N400 simplemente a una onda negativa con pico aproximadamente en los 400 ms, que no tiene por qué coincidir con el componente N400 ni en topografía ni en el tipo de manipulación experimental que la provoca. En este sentido, coincidimos con la opinión de Picton et al. (2000) cuando dicen que es necesario que la comunidad de científicos que se ocupan del tema llegue a un acuerdo sobre el modo de designar a los distintos componentes. Estos autores han denunciado que, con frecuencia, se utiliza una misma nomenclatura para identificar cosas distintas, y esto nos puede llevar a equívocos. Por tanto, es imprescindible diferenciar de alguna manera la utilización del término N400 en un sentido estrictamente físico —pico de voltaje negativo en los 400 ms—, de su utilización en un sentido teórico —pico negativo en los 400 ms. vinculado a un proceso psicológico concreto—. Ya comentamos en el marco teórico que Picton et al. sugieren utilizar el término N400 desde una perspectiva observacional y el término $\overline{\text{N400}}$ desde una perspectiva teórica.

2º. Creemos que en los últimos años se ha abusado del concepto de *componente* y han proliferado componentes extremadamente específicos, tanto que, en ocasiones, se encuentran componentes relacionados con una manipulación experimental muy concreta. A nuestro juicio es fundamental definir con claridad los distintos componentes pero asociándolos a procesos psicológicos de carácter genérico. En definitiva, lo que nos interesa como científicos es establecer leyes generales, ya que de otro modo habrá tantos componentes como posibles manipulaciones experimentales.

3º. Con el objetivo de diferenciar adecuadamente los distintos componentes, nos parece necesario que, además de aunar criterios terminológicos, se utilicen condiciones estandarizadas de registro y de análisis de la respuesta psicofisiológica. Si esto no se hace así, resulta difícil comparar las ondas



reportadas en distintas investigaciones. Ya hemos insistido en otro lugar acerca de la imposibilidad de comparar los resultados de las distintas investigaciones y, en consecuencia, de establecer si las ondas observadas son o no el mismo componente, cuando las ventanas analizadas en cada caso son muy diferentes. Además, se acostumbra a trabajar con ventanas de latencia excesivamente amplias. Una solución a este problema sería la utilización de ventanas más cortas, las cuales nos permiten detectar de forma más precisa en qué rango de latencia se inician las diferencias de voltaje entre los distintos tipos de estímulos, hasta qué rango se mantienen tales diferencias, y en qué ventana las diferencias son máximas.

En conclusión, consideramos que una buena parte del desconcierto que hay en la literatura sobre el componente N400 podría deberse a las razones que hemos apuntado. Los experimentos que ofrecemos en este trabajo han constatado que el componente N400 no aparece ni en una tarea tipo Stroop ni en la presentación de series numéricas. No obstante, entendemos que es necesario realizar más experimentos en situaciones en las que otros investigadores han encontrado negatividades tipo N400 para determinar si son, en efecto, el componente N400, y, en fin, para precisar, aun más, la naturaleza de este componente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aine, C.J. & Harter, M.R. (1984a). Event-related potentials to Stroop stimuli: Color and word processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 425, 152-153.
- Aine, C.J. & Harter, M.R. (1984b). Hemispheric differences in event-related potentials to Stroop stimuli: Attention and color-word processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 425, 154-156.
- Alameda, J.R. & Cuetos, F. (1995). *Diccionario de frecuencias de las unidades lingüísticas del castellano*. Oviedo: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.
- Allison, T., Wood, C.C. & McCarthy, G.M. (1986). The central nervous system. En M.G.H. Coles, E. Donchin & S.W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, Processes, and Applications*, (pp. 5-25). New York: Guilford.
- Bajric, J., Rösler, F., Heil, M. & Hennighausen, E. (1999). On preparating processes of event categorization, task preparation, and mental rotation proper in a handedness recognition task. *Psychophysiology*, 36, 399-408.
- Barret, S.E. & Rugg, M.D. (1989). Event-related potentials and the semantic matching of faces. *Neuropsychologia*, 27(7), 913-922.
- Barret, S.E. & Rugg, M.D. (1990a). Event-related potentials and the phonological matching of picture names. *Brain and Language*, 38(3), 424-437.
- Barrett, S.E. & Rugg, M.D. (1990b). Event-related potentials and the semantic matching of pictures. *Brain and Cognition*, 14, 201-212.
- Barret, S.E., Rugg, M.D. & Perret, D.I. (1988). Event-related potentials and the matching of familiar and unfamiliar faces. *Neuropsychologia*, 26(1), 105-117.

- Bashore, T.R. & Rapp, P.E. (1993). Are there alternatives to traditional polygraph procedures? *Psychological Bulletin*, 113(1), 3-22.
- Battig, W.F. & Montague, W.E. (1969). Category norms for verbal items in 56 categories: a replication and extension of the Connecticut category norms. *Journal of Experimental Psychology Monographs*, 80 (3).
- Bentin, S., Kutas, M. & Hillyard, S. (1993). Electrophysiological evidence for task effects on semantic priming in auditory word processing. *Psychophysiology*, 30, 161-169.
- Bentin, S., McCarthy, G. & Wood, C.C. (1985). Event-related potentials associated with semantic priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60, 343-355.
- Besson, M. (1997). Electrophysiological studies of music processing. En I. Deliège & J. Sloboda (Eds.), *Perception and cognition of music* (pp. 217-250). Hove, UK: Psychology Press.
- Besson, M. & Faita, F. (1995). An event-related potential (ERP) study of musical expectancy: comparison of musicians with nonmusicians. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(6), 1278-1296.
- Besson, M. & Kutas, M. (1993). The many facets of repetition: A cued-recall and event-related potential analysis of repeating words in same versus different sentence contexts. *Journal of Experimental Psychology; Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1115-1133.
- Besson, M. & Macar, F. (1987). An event-related potential analysis of incongruity in music and other non-linguistic contexts. *Psychophysiology*, 24(1), 14-25.
- Besson, M., Kutas, M. & Van Petten, C. (1992). An event-related potential (ERP) analysis of semantic congruity and repetition effects in sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(2), 132-149.
- Boaz, T.L., Perry, N.W., Raney, G., Fischler, I. & Shuman, D. (1991). Detection of guilty knowledge with event-related potentials. *Journal of Applied Psychology*, 76(6), 788-795.
- Bobes, M.A., Valdes-Sosa, M. & Olivares, E. (1994). An ERP study of expectancy violation in face perception. *Brain and Cognition*, 26, 1-22.
- Bobes, M.A., Martín, M., Olivares, E. & Valdés-Sosa, M. (2000). Different scalp topography of brain potentials related to expression and identity matching of faces. *Cognitive Brain Research*, 9, 249-260.

- Boddy, J. (1986). Event-related potentials in chronometric analysis of primed word recognition with different stimulus onset asynchronies. *Psychophysiology*, 23, 232-245.
- Brown, C. & Hagoort, P. (2000). On the electrophysiology of language comprehension: implications for the human language system. En M.W. Crocker, M. Pickering & C. Clifton (Eds.), *Architectures and Mechanisms for Language Processing*, (pp.213-237). Cambridge: Cambridge University Press.
- Brualla, J., Romero, M.F., Serrano, M. & Valdizán, J.R. (1998). Auditory event-related potentials to semantic priming during sleep. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 108, 283-290.
- Brunia, C.H.M. (1993). Waiting in readiness: gating in attention and motor preparation. *Psychophysiology*, 30, 327-339.
- Castle, P.C., Van Toller, S. & Milligan, G.J. (2000). The effect of odour priming on cortical EEG and visual ERP responses. *International Journal of Psychophysiology*, 36, 123-131.
- Clark, H.H. & Clark, E.V. (1977). *Psychology and language: an introduction to psycholinguistics*. Harcourt Brace Jovanovich: New York.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112, 155-159.
- Coles, M.G.H. & Rugg, M.D. (1995). Event-related brain potentials: an introduction. En M.D.Rugg & M.G.Coles (Eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-related Brain Potentials and Cognition*, (pp. 1-26). Oxford: Oxford University Press.
- Coles, M.G.H., Gratton, G. & Fabiani, M. (1990). Event-related potentials. En J.T. Caccioppo & L.G. Tassinay (Eds.), *Principles of Psychophysiology: Physical, Social, and Inferential Elements*, (pp. 413-455). Cambridge: Cambridge University Press.
- Coles, M.G.H., Smid, H.G.O.M., Scheffers, M.K. & Otten, L.J. (1995). Mental chronometry and the study of human information processing. En M.D. Rugg & M.G.H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition* (pp. 86-131). Oxford: Oxford University Press.
- Connolly, J.F. & Phillips, N.A. (1994). Event-related potential components reflect phonological and semantic processing of the terminal word of spoken sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 256-266.

- Connolly, J.F., Stewart, S.H. & Phillips, N.A. (1990). The effects of processing requirements on neurophysiological responses to spoken sentences. *Brain and Language*, 39, 302-318.
- Coscolluela, A. (1992). Rendimiento escolar, inteligencia y velocidad de procesamiento de la información. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Barcelona.
- Coulson, S., King, J. & Kutas, M. (1998). Expect the unexpected: event-related brain responses to morphosyntactic violations. *Language and Cognitive Processes*, 13, 21-58.
- Desrocher, M.E., Smith, M.L. & Taylor, M.J. (1995). Stimulus and sex differences in performance of mental rotation: Evidence from event-related potentials. *Brain and Cognition*, 28, 14-38.
- Donchin, E. & Coles, M.G.H. (1988a). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and brain sciences*, 11, 355-372.
- Donchin, E. & Coles, M.G.H. (1988b). On the conceptual foundations of cognitive psychophysiology. *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 406-417.
- Donchin, E., Ritter, W. & McCallum, C. (1978). Cognitive psychophysiology: the endogenous components of the ERP. En E. Callaway, P. Tueting & S.H. Koslow, *Brain Event-related Potentials in Man*, (pp. 349-411). New York: Academic.
- Duncan-Johnson, C.C. & Donchin, E. (1977). On quantifying surprise; the variation in event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, 14, 459-467.
- Duncan-Johnson, C.C. & Kopell, B.S. (1981). The Stroop effect: brain potentials localize the source of interference. *Science*, 214, 938-940.
- Escera, C. (1997). Potencial de disparidad (*Mismatch Negativity*): características y aplicaciones. *Anuario de Psicología*, 72, 63-80.
- Fabiani, M., Gratton, G., Karis, D. & Donchin, E. (1987). Definition, identification, and reliability of measurement of the P300 component of the event-related potentials. En P. Acklers, J.R. Jennings & M.G.H. Coles (Eds.), *Advances in psychophysiology*, 2, (pp.1-78). Greenwich, CT: JAI Press.
- Farwell, L.A. & Donchin, E. (1991). The truth will out: interrogative polygraphy ("lie detection" with event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 28(5), 531-547.

- Federmeier, K.D. & Kutas, M. (1999). A rose by any other name: long-term memory structure and sentence processing. *Journal of Memory and Language*, 41, 469-495.
- Fischler, I., Bloom, P.A., Childers, D.G., Arroyo, A.A. & Perry, N.W. (1984). Brain potentials during sentence verification: late negativity and long-term memory strength. *Neuropsychologia*, 22(5), 559-568.
- Fischler, I., Bloom, P.A., Childers, D.G., Roucos, S.E. & Perry, N.W. (1983). Brain potentials related to stages of sentence verification. *Psychophysiology*, 20, 400-409.
- Fischler, I., Childers, D.G., Achariyapaopan, T. & Perry, N.W. (1985). Brain potentials during sentence verification: automatic aspects of comprehension. *Biological Psychology*, 21, 83-105.
- Fischler, I., Jin, Y., Boaz, T.L., Perry, N.W. & Childers, D.G. (1987). Brain Potentials related to seeing one's own name. *Brain and Language*, 30, 245-262.
- Friederici, A.D. (1995). The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neurophysiological data. *Brain and Language*, 50, 259-281.
- Friederici, A.D., Hahne, A. & Mecklinger, A. (1996). Temporal structure of syntactic processing: early and late event-related potential effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1219-1248.
- Friederici, A.D. & Mecklinger, A. (1996). Syntactic parsing as revealed by brain responses: First-pass and second-pass parsing processes. *Journal of Psycholinguistic Research*, 25, 157-176.
- Fujihara, N., Nagaishi, Y., Koyama, S. & Nakajima, Y. (1998). Electrophysiological evidence for the typicality effect of human cognitive categorization. *International Journal of Psychophysiology*, 29, 65-75.
- Ganis, G., Kutas, M. & Sereno, M. (1996). The search for "Common Sense": An electrophysiological study of the comprensión of words and pictures in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 89-106.
- Garnsey, S. (1993). Event-related brain potentials in the study of language: an introduction. *Language and Cognitive Processes*, 8(4), 337-356.
- Geisser, S. & Grenhouse S.W. (1958). An extension of Box's results on the use of the F distribution in multivariate analysis. *Annals of Mathematical Statistics*, 29, 885-891.

- Grigor, J., Van Toller, S., Behan, J. & Richardson, A. (1999). The effect of odour priming on long latency visual evoked potentials of matching and mismatching objects. *Chemical Senses*, 24(2), 137-144.
- Gunter, T., Stowe, L. & Mulder, G. (1997). When syntax meets semantics. *Psychophysiology*, 34, 660-676.
- Hagoort, P., Brown, C. & Groothusen, J. (1993). The syntactic positive shift as an ERP measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes*, 8, 439-484.
- Haig, A.R. (2000). *Topographic analysis of amplitude data*. Documento interno del Brain Dynamics Centre, Westmead Hospital.
- Haig, A.R., Gordon, E. & Hook, S. (1997). To scale or not to scale: McCarthy and Wood revisited. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 103, 323-325.
- Hand, D.J. & Taylor, C.C. (1993). *Multivariate analysis of variance and repeated measures. A practical approach for behavioural scientists*. U.K.: Chapman and Hall.
- Harter, M.R. & Anllo-Vento, L. (1991). Visual-spatial attention: preparation and selection in children and adults. En C.H.M.Brunia, G.Mulder & M.N. Verbaten (Eds.), *Event-related Potentials of the Brain (EEG Suppl. 42)*, (pp. 183-194). Amsterdam: Elsevier
- Heinze, H. Munte, T. & Kutas, M. (1998). Context effects in a category verification task as assessed by event-related brain potential (ERP) measures. *Biological Psychology*, 47, 121-135.
- Herning, R.I., Jones, R.T., & Hunt, J.S. (1987). Speech event-related potentials reflect linguistic content and processing level. *Brain and Language*, 30, 116-129.
- Herning, R.I., Speer, M. & Jones, R.T. (1987). Event-related potentials to spoken equations: Is the N400 really a late N200?. En R. Johnson, Jr., J.W. Rohrbaugh & R. Parasuraman (Eds.), *Current trends in event-related potential research* (pp. 394-398). Amsterdam: Elsevier.
- Hillyard, S.A., Picton, T.W. & Regan, D. (1978). Sensation, perception, and attention: Analysis using ERPs. En E. Callaway, P. Tueting & S.H. Koslow (Eds.), *Event-related Potentials in Man*, (pp. 223-321). New York: Academic Press.

- Holcomb, P.J. (1986). Electrophysiological correlates of semantic facilitation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38, 320-322.
- Holcomb, P.J. (1988). Automatic and attentional processes: An event-related potential analysis of semantic priming. *Brain and Language*, 35, 66-85.
- Holcomb, P.J. (1993). Semantic priming and stimulus degradation: Implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology*, 30(1), 47-61.
- Holcomb, P.J. & Anderson, J. (1993). Cross-modal semantic priming: A time-course analysis using event-related brain potentials. *Language and Cognitive Processes*, 8, 379-412.
- Holcomb, P.J., Kounios, J., Anderson, J. & West, W.C. (1999). Dual coding, context availability and concreteness effects in sentence comprehension: An electrophysiological investigation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 25, 721-742.
- Holcomb, P.J. & McPherson, W.B. (1994). Event-related brain potentials reflect semantic priming in an object decision task. *Brain and Cognition*, 24, 257-276.
- Holcomb, P.J. & Neville, H.J. (1990). Auditory and visual semantic priming in lexical decision: A comparison using event-related brain potentials. *Language and Cognitive Processes*, 5, 281-312.
- Holcomb, P.J. & Neville, H.J. (1991). Natural Speech processing: an analysis using event-related brain potentials. *Psychobiology*, 19(4), 286-300.
- Honrubia, M. L. (1989). *Potenciales evocados y procesamiento verbal: interpretación teórica*. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Barcelona.
- Jasper, H.H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jemel, B., George, N., Olivares, E., Fiori, N. & Renault, B. (1999). Event-Related potentials to structural familiar face incongruity processing. *Psychophysiology*, 36, 437-452.
- Johnson, R., Jr. (1988). The amplitude of the P300 component of the event-related potential: Review and synthesis. En P.K. Ackles, J.R. Jennings & M.G.H. Coles (Eds.), *Advances in Psychophysiology*, 3, (pp. 69-138). Greenwich, CT: JAI Press.
- Johnson, R., Coz, C. & Fedio, P. (1987). Event-related potential evidence for individual differences in a mental rotation task. En R. Johnson. Jr., J. W.

- Rohrbaugh & R. Parasuraman (Eds.), *Current Trends in Event-Related Potential Research* (EEG Suppl.40) (pp. 191-197). Amsterdam: Elsevier.
- Johnson, M.M. & Rosenfeld, J.P. (1992). Oddball-evoked P300-based method of deception detection in the laboratory II: Utilization of non-selective activation of relevant knowledge. *International Journal of Psychophysiology*, 12, 289-306.
- Katayama, J., Miyata, Y. & Yagi, A. (1987). Sentence verification and event-related brain potentials. *Biological Psychology*, 25, 173-185.
- Katayama, J. & Yagi, A. (1992). Negative brain potentials elicited by an unexpected color patch or word. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 83, 248-253.
- Keselman, H.J. (1998). Testing treatment effects in repeated measures designs: An update for psychophysiological researchers. *Psychophysiology*, 35, 470-478.
- Keselman, H.J. & Keselman, J.C. (1988). Comparing repeated measures means in factorial designs. *Psychophysiology*, 25(5), 612-618.
- Keselman, H.J. & Keselman, J.C. (1993). Analysis of repeated measurements. En L.K. Edwards (Ed.), *Applied analysis of variance in behavioral science* (pp.105-145). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Keselman, H.J., Keselman, J.C. & Lix, L.M. (1995). The analysis of repeated measurements: Univariate tests, multivariate tests, or both? *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 48, 319-338.
- King, J.W. & Kutas, M. (1995). Who did what and when? Using word- and clause-level ERPs to monitor working memory usage in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 376-395.
- Kluender R. & Kutas, M. (1993). The interaction of lexical and syntactic effects in the processing of unbounded dependencies. *Language and Cognitive Processes*, 8, 573-633.
- Kong, J. Wang, Y., Zhang, W., Wang, H., Wei, H., Shang, H., Yang, X. & Zhuang, D. (2000). Event-related brain potentials elicited by a number discrimination task. *Neuroreport*, 11(6), 1195-1197.
- Kong, J., Wang, Y., Shang, H., Wang, Y., Yang, X. & Zhuang, D. (1999). Brain potentials during mental arithmetic-effects of problem difficulty on event-related brain potentials. *Neuroscience Letters*, 260, 169-172.
- Kornhuber, H.H. & Deeke, L. (1965). Hirnpotentialänderungen bei Willkurbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen:

- Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflügers. Arch. Ges. Physiol.*, 284, 1-17.
- Kounios, J. & Holcomb, P. (1992). Structure and process in semantic memory: evidence from event-related brain potentials and reaction times. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121, 460-480.
- Kounios, J. & Holcomb, P. (1994). Concreteness effects in semantic processing: ERP evidence supporting dual-coding theory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20(4), 804-823.
- Kramer, A.F. (1985). The interpretation of the component structure of event-related brain potentials: An analysis of expert judgments. *Psychophysiology*, 22, 334-344.
- Kutas, M. (1987). Event-related brain potentials (ERPs) elicited during rapid serial visual presentation of congruous and incongruous sentences. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Supplemente* 40, 406-411.
- Kutas, H & Dale, A. (1997). Electrical and magnetic readings of mental functions. En M.D. Rugg (Ed.), *Cognitive neuroscience* (pp. 197-242). Hove East Sussex, UK: Psychology Press.
- Kutas, H. & Van Petten, C. (1994). Psycholinguistics electrified: event-related potential investigations. En M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 83-143). San Diego, CA: Academic Press.
- Kutas, M. & Federmeier, K.D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(4), 463-470.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980a). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980b). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology*, 11, 99-116.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980c). Reading between the lines: event-related brain potentials during natural sentence processing. *Brain and language*, 11, 354-373.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1983). Event-related brain potentials to grammatical errors and semantic anomalies. *Memory and Cognition*, 11, 539-550.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, 307, 161-163.

- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1989). An electrophysiological probe of incidental semantic association. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 38-49.
- Kutas, M., Lindamood, T. & Hillyard, S.A. (1984). Word expectancy and event-related brain potentials during sentence processing. En S. Kornblum & J. Roquin (Eds.), *Preparatory states and processes*, (pp. 217-238). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kutas, M., McCarthy, G., & Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, 197, 792-795.
- Kutas, M., Neville, H.J. & Holcomb, P.J. (1987). A preliminary comparison of the N400 response to semantic anomalies during reading, listening, and signing. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39, 325-330.
- Kutas, M. & Van Petten, C. (1988). Event-related brain potentials studies of language. En P.K. Ackles, J.R. Jennings & M.G.H. Coles (Eds.), *Advances in psychophysiology*, (pp. 138-187). Greenwich, CT: JAI Press.
- Kutas, M. & Van Petten, C. (1994). Psycholinguistics electrified: Event-related brain potential investigations. En M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics*, (pp. 83-143). San Diego, CA: Academic Press.
- Kutas, M., Van Petten, C. & Besson, M. (1988). Event-related potentials asymmetries during the reading of sentences. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69, 218-233.
- Lavoie, M.E. (1999). Toward a functional explanation of the locus of the Stroop interference: a psychophysiological study. *Brain and Cognition*, 40(1), 167-170.
- Liotti, M., Woldorff, M.G., Perez, R. & Mayberg, H.S. (2000). An ERP study of the temporal course of the Stroop color-word interference effect. *Neuropsychologia*, 38, 701-711.
- Loveless, N.E. & Sanford, A.J. (1974). Effects of age on the contingent negative variation and preparatory set in a reaction-time task. *Journal of Gerontology*, 29, 52-63.
- MacLeod, C.M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163-203.
- Magliero, A., Bashore, T.R., Coles, H.G.H. & Donchin, E. (1984). On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology*, 21, 171-186.

- Malapeira, J.M. (1987). *Acústica: Análisis teórico-metodológico de las aportaciones de la psicofísica, la teoría de la detección de señales y la cronoscopia*. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Barcelona.
- Mangun, G.R. & Hillyard, S.A. (1995). Mechanisms and models of selective attention. En M.D.Rugg & M.G.Coles (Eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-related Brain Potentials and Cognition*, (pp. 40-85). Oxford: Oxford University Press.
- Maxwell, S.E. & Delaney, H.D. (1990). *Designing experiments and analyzing data. A model comparison perspective*. California: Wadsworth Publishing Company.
- McCallum, W.C., Farmer, S.F. & Pocock, P.V. (1984). The effects of physical and semantic incongruities on auditory event-related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59, 477-488.
- McCarthy, G. & Donchin, E. (1981). A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, 211, 77-80.
- McCarthy, G. & Wood, C. (1985). Scalp distributions of event-related potentials: an ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62, 203-208.
- McPherson, W.B. & Holcomb, P.J. (1999). An electrophysiological investigation of semantic priming with pictures of real objects. *Psychophysiology*, 36, 53-65.
- Mitchell, P.F, Andrews, S. & Ward, P.B. (1993). An event-related potentials study of semantic congruity and repetition in a sentence-reading task: Effect of context change. *Psychophysiology*, 30, 496-509.
- Münter, T.F., Heinze, H. & Mangun, G. (1993). Dissociation of brain activity related to syntactic and semantic aspects of language. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 335-344.
- Münter, T.F., Heinze, H., Matzke, M., Wieringa, B.M. & Johannes, S. (1998). Brain potentials and syntactic violations revisited: no evidence for specificity of the syntactic positive shift. *Neuropsychologia*, 36(3), 217-226.
- Näätänen, R. (1992). Attention and brain function. Hillsdale, Nj: Erlbaum.
- Näätänen, R., Gaillard, A.W.K. & Mantysalo, S. (1978). The N1 effect of selective attention reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313-329.
- Näätänen, R. & Picton, T.W. (1986). N2 and automatic vs controlled processes: A classification of N2 kinds of ERP components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology (Suppl.)*, 38, 171-188.

- Neville, H.J. (1985). Effects of early sensory and language experience on the development of the human brain. En J. Mehler & R. Fox (Eds.), *Neonate cognition: Beyond the blooming buzzing confusion*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Neville, H.J., Coffey, S.A., Lawson, D.S., Fischer, A., Emmorey, K. & Bellugi, U. (1997). Neural systems mediating American Sign Language: Effects of sensory experience and age of acquisition. *Brain and Language*, 57, 285-308.
- Neville, H.J., Mills, D.L. & Lawson, D.L. (1992). Fractionating language: Different neural subsystems with different sensitive periods. *Cortex*, 2, 244-258.
- Neville, H.J., Nicol, J., Barss, A., Forster, K.I. & Garret, M.F. (1991). Syntactically based processing classes: evidence from event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 151-165.
- Niedeggen, M. & Rösler, F. (1996). N400 effects related to incongruities in mental calculation problems. *Psychophysiology*, 33, S65.
- Niedeggen, M. & Rösler, F. (1999). N400 effects reflect activation spread during retrieval of arithmetic facts. *Psychological Science*, 10(3), 271-276.
- Niedeggen, M., Rösler, F. & Jost, K. (1999). Processing of incongruous mental calculation problems: Evidence for an arithmetic N400 effect. *Psychophysiology*, 36, 307-324.
- Nigam, A., Hoffman, J.E. & Simons, R.F. (1992). N400 to semantically anomalous pictures and words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(1), 15-22.
- Nobre, A.C. & McCarthy, G. (1994). Language-related ERPs: Scalp distributions and modulation by word type and semantic priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 233-255.
- Nunez, P.L. (1981). *Electric fields of the brain*. New York: Oxford University Press.
- Nunez, P.L. (1990). Physical principles and neurophysiological mechanisms underlying event-related potentials. In J.W. Rohrbaugh, R. Parasuramen & R. Johnson (Eds.), *Event-related Brain Potentials*, (pp. 19-36). New York: Oxford University Press.
- O'Halloran, J.P., Isenhardt, R., Sandman, C.A. & Larkey, L.S. (1988). Brain responses to semantic anomaly in natural, continuous speech. *International Journal of Psychophysiology*, 6, 243-254.
- Olivares, E., Bobes, M., Aubert, E. & Valdes-Sosa, M. (1994). Associative ERP effects with memories of artificial faces. *Cognitive Brain Research*, 2, 39-48.

- Olivares, E., Iglesias & Bobes, M. (1998). Searching for face-specific long latency ERPs: a topographic study of effects associated with mismatching features. *Cognitive Brain Research*, 7, 343-356
- Osterhout, L. (1994). Event-related brain potentials as tools for comprehending language comprehension. En C. Clifton, L. Frazier & K. Rayner, *Perspectives on sentence processing*, (pp. 15-44). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Osterhout, L. & Holcomb, P.J. (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785-806.
- Osterhout, L. & Holcomb, P.J. (1995). Event-related potentials and language comprehension. En M.D. Rugg & M.G.H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*, (pp. 171-208). Oxford: Oxford University Press.
- Paller, K.A., Kutas, M., Shimamura, A.P. & Squire, L.R. (1987). Brain responses to concrete and abstract words reflect processes that correlate with later performance on tests of recall and stem-completion priming. En R. Johnson, Jr., J.W. Rohrbaugh & R. Parasuraman (Eds.), *Current trends in event-related brain potentials: Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Supplement 40* (pp. 360-365). Amsterdam: Elsevier.
- Paller, K.A., McCarthy, G. & Wood, C.C. (1992). Event-related potentials elicited by deviant endings to melodies. *Psychophysiology*, 29(2), 202-206.
- Patel, A.D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M. & Holcomb, P.J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: an event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(6), 717-733.
- Pauli, P., Lutzenberger, W., Birbaumer, N., Rickard, T.C. & Bourne, L.E. (1996). Neurophysiological correlates of mental arithmetic. *Psychophysiology*, 33, 522-529.
- Pérez, M.C., Rodríguez, R., Bobes, M.A., Gutiérrez, J. & Valdés-Sosa, M. (1994). Brain potentials and the availability of semantic and phonological codes over time. *Neuroreport: An International Journal for the Rapid Communication of Research in Neuroscience*, 5(16), 2173-2177.
- Peronnet F. & Farra, M.J. (1989). Mental rotation: an event-related potential study with a validated mental rotation task. *Brain and Cognition*, 9, 279-288.
- Picton, T.W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S.A., Johnson, R., Miller, G.A., Ritter, W., Ruchkin, D.S., Rugg, M.D. & Taylor, M.J. (2000). Guidelines

- for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37, 127-152.
- Picton, T.W., Lins, O.G. & Scherg, M. (1995). The recording and analysis of event-related potentials. En F. Boller & J. Grafman (Eds.), *The Handbook of Neuropsychology, Volume 10*. Amsterdam: Elsevier.
- Polich, J. (1985). N400s from sentences, semantic categories, number and letter strings? *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23 (4), 361-364.
- Polich, J. (1985). Semantic categorization and event-related potentials. *Brain and Language*, 26, 304-321.
- Polich, J. y Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biological Psychology*, 41, 103-146.
- Pollina, D.A. & Squires, N.K. (1998). Many-Valued logic and event-related potentials. *Brain and Language*, 63, 321-345.
- Praamstra, P., Meyer, A.S. & Levelt, W.J.M. (1994). Neurophysiological manifestations of phonological processing: latency variation of a negative ERP component timelocked to phonological mismatch. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 204-219.
- Pritchard, W.S. (1981). Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin*, 89, 506-540.
- Pritchard W.S., Shappel, S.A. & Brandt, M.E. (1991). Psychophysiology of N200/N400: a review and classification scheme. En J.R. Jennings, P.K. Ackles & M.G.H. Coles (Eds.), *Advances in psychophysiology*, 4 (pp. 43-106). London: Jessica Kingsley Publishers.
- Radeau, M., Besson, M., Fonteneau, E. & Castro, S.L. (1998). Semantic repetition and rime priming between spoken words: behavioral and electrophysiological evidence. *Biological Psychology*, 48, 183-204.
- Rebai, M., Bernard, C. & Lanno, J. (1997). The Stroop's test evokes a negative brain potential, the N400. *International Journal of Neuroscience*, 9(1-2), 85-94.
- Ritter, W., Ford, J.M., Gaillard, W.K., Harter, M.R., Kutas, M., Näätänen, R., Polich, J., Renault, B. & Rohrbaugh, J. (1984). Cognition and event-related potentials: the relation of negative potentials and cognitive processes. En R. Karrer, J. Cohen & P. Tueting (Eds.), *Brain and information: Event-related potentials* (pp. 24-38). New York: New York Academy of Sciences.

- Ritter, W., Simson, R. & Vaughan, H.G. (1983). Event-related potential correlates of two stages of information processing in physical and semantic discrimination tasks. *Psychophysiology*, 20, 168-179.
- Rohrbaugh, J. & Gaillard, A.W.K. (1983). Sensory and motor aspects of the contingent negative variation. En A.W.K. Gaillard & W. Ritter (Eds.), *Tutorials in event-related potentials research: endogenous components*, (pp. 269-310). Amsterdam: North-Holland.
- Rosenfeld, J.P. (1995). Alternative views of Bashore and Rapp's (1993) alternatives to traditional polygraphy: a critique. *Psychological Bulletin*, 117(1), 159-166.
- Rösler, F., Friederici, A., Putz, P. & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials while encountering semantic and syntactic constraint violations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 345-362.
- Rösler, F., Heil, M., Bajric, J., Pauls, A. & Hennighausen, E. (1995). Patterns of cerebral activation while mental images are rotated and changed in size. *Psychophysiology*, 32, 135-149.
- Rösler, F., Schumacher, G. & Sojka, B. (1990). What the brain reveals when it thinks: event-related potentials during mental rotation and mental arithmetic. *The German Journal of Psychology*, 14(3), 185-203.
- Ruchkin, D.S., Johnson, R., Canoune, H. & Ritter, W. (1991). Event-related potentials during arithmetic and mental rotation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 79, 473-487.
- Ruchkin, D.S., Johnson, R. & Friedman, D. (1999). Scaling is necessary when making comparisons between shapes of event-related potential topographies: a reply to Haig et al. *Psychophysiology*, 36, 832-834.
- Rugg, M.D. (1984a). Event-related potentials in phonological matching tasks. *Brain and Language*, 23, 225-240.
- Rugg, M.D. (1984b). Event-related potentials and the phonological processing of words and non-words. *Neuropsychologia*, 22, 765-775.
- Rugg, M.D. (1985). The effects of handedness on event-related potentials in a rhyme-matching task. *Neuropsychologia*, 23, 765-775.
- Rugg, M.D. (1985). The effects of semantic priming and word repetition on event-related potentials. *Psychophysiology*, 22, 642-647.
- Rugg, M.D. (1990). Event-related brain potentials dissociate repetition effects of high- and low- frequency words. *Memory and Cognition*, 18, 367-379.

- Rugg, M.D. & Barret, S.E. (1987). Event-related potentials and the interaction between orthographic and phonological information in a rhyme-judgment task. *Brain and Language*, 32, 336-361.
- Rugg, M.D., Doyle, M.C. & Melan, C. (1993). An event-related potential study of the effects of within- and across-modality word repetition. *Language and Cognitive Processes*, 8 (4), 357-377.
- Salafranca, L. (1991). *Neurociencia cognitiva: problemática del análisis de datos*. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Barcelona.
- Sarfarazi, M., Cave, B., Richardson, A., Behan, J. & Sedgwick, E. (1999). Visual event related potentials modulated by contextually relevant and irrelevant olfactory primes. *Chemical Senses*, 24(2), 145-154.
- Simons, R.F. (1988). Event-related slow brain potentials: a perspective from ANS psychophysiology. En P.I. Ackles, J.R. Jennings & M.G.H. Coles (Eds.), *Advances in Psychophysiology*, vol 3 (pp. 223-267). Greenwich, CT: JAI Press.
- Smith, M.E. & Halgren, E. (1987). Event-related potentials during lexical decision: Effects of repetition, word frequency, pronounceability, and concreteness. En R. Johnson, Jr., J.W. Rohrbaugh & R. Parasuraman (Eds.), *Current trends in event-related potential research: Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Supplement 40 (pp. 417-421). Amsterdam: Elsevier.
- Solanas, A. (1990). *Análisis matemático-estadístico del P300*. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Barcelona.
- Soto, P., Sebastián, M.V., García, E. & del Amo, T. (1982). *Categorización y datos normativos en España*. Madrid: Colección de Monografías del ICE.
- Squires, K.C., Wickens, C., Squires, N.K. & Donchin, E. (1976). The effect of stimulus sequence on the waveform of the cortical event-related potential. *Science*, 193, 1142-1146.
- Stuss, D.T., Picton, T.W., Cerri, A.M., Leech, E.E. & Stethem, L.L. (1992). Perceptual closure and object identification: electrophysiological responses to incomplete pictures. *Brain and Cognition*, 19, 253-266.
- Stuss, D.T., Sarazin, F.F., Leech, E.E. & Picton, T.W. (1983). Event-related potentials during naming and mental rotation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 56, 133-146.
- Sutton, S. Braren, M., Zubin, J. & John, E.R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.

- Sutton, S. & Ruchkin, D.S. (1984). The late positive complex: Advances and new problems. En R. Karrer, J. Cohen & P. Tueting (Eds.), *Brain and information: Event-related potentials*, (pp. 1-23). New York: New York Academy of Sciences.
- Taylor, W.L. (1953). Cloze procedure: a new tool for measuring readability. *Journalism Quarterly*, 30, 415-417.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. En E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory*. Academic Press: London.
- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40(4), 385-398.
- Turbany, J. (1992). *Detección & análisis del componente endógeno CNV*. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Barcelona.
- Van Petten, C. & Kutas, M. (1987). Ambiguous words in context: An event-related potential analysis of the time course of meaning activation. *Journal of Memory and Language*, 26, 188-208.
- Van Petten, C. & Kutas, M. (1990). Interactions between sentence context and word frequency in event-related brain potentials. *Memory and Cognition*, 18, 380-393.
- Van Petten, C. & Kutas, M. (1991). Influences of semantic and syntactic context on open and closed class words. *Memory and Cognition*, 19, 380-393.
- Vasey, M. & Thayer, J. (1987). The continuing problem of false positives in repeated measures ANOVA in psychophysiology: a multivariate solution. *Psychophysiology*, 24 (4), 479-486.
- Walter, W.G., Cooper, R., Aldridge, V.J. McCallum, W.C. & Winter, A.L. (1964). Contingent negative variation: an electrical sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 230, 380-384.
- Wang, Y., Kong, J., Tang, X., Zhuang, D. & Li, S. (2000). Event-related potential N270 is elicited by mental conflict processing in human brain. *Neuroscience Letters*, 293, 17-20.
- Wason, P.C. & Jonson-Laird, P.N. (1981). *Psicología del razonamiento: estructura y contenido*. Debate: Madrid (Traducción del original en inglés *Psychology of reasoning: structure and content*. Londres: B.T. Batsford, 1972).
- West, R. & Alain, C. (1999). Event-related neural activity associated with the Stroop task. *Cognitive Brain Research*, 8, 157-164.

- Wijers, A.A., Otten, L.J., Feenstra, S., Mulder, G. & Mulder, L. (1989). Brain potentials during selective attention, memory search, and mental rotation. *Psychophysiology*, 26(4), 452-467.
- Winer, B.J., Brown, D.R. & Michels, K.M. (1991). *Statistical principles in experimental design*. New York: McGraw-Hill.
- Wood, C.C. (1987). Generators of event-related potentials. En A.M. Halliday, S.R. Butler & R. Paul (Eds.), *A textbook of clinical neurophysiology*, (pp. 535-567). New York: Wiley.

