

## ¿Afecta la frecuencia de uso al procesamiento de estructuras sintácticas? Un estudio de potenciales evocados

*Tabullo, Ángel\**

*Sevilla, Yamila\*\**

*Yorio, Alberto\**

*Segura, Enrique\**

*Zanutto, Silvano\**

*Wainselboim, Alejandro\**

### Resumen

Las teorías clásicas del procesamiento gramatical proponen un sistema combinatorio discreto que aplica reglas de tipo algebraicas al análisis sintáctico. El P600, un potencial evocado elicitado por anomalías de tipo sintácticas, es considerado un reflejo del costo de procesamiento asociado al proceso de análisis. Una posibilidad alternativa es que la estructura sintáctica se procese como un mapeo probabilístico de la co-ocurrencia entre las distintas categorías de palabras. Las teorías clásicas predicen que combinaciones gramaticales e infrecuentes de palabras no evocarán un P600; mientras que las teorías probabilísticas predicen que las combinaciones infrecuentes de palabras serán procesadas de manera similar a las no gramaticales. El presente estudio comparó posibles efectos de frecuencia y gramaticalidad en los potenciales evocados durante el procesamiento sintáctico. Se emplearon tres verbos, seguidos por dos estructuras con diferentes frecuencias de uso: a) Cláusula de Infinitivo (CI, ca. 80%); o Cláusula de Complementante (CC, ca. 20%). Se presentaron cuatro tipos de oraciones: Gramaticales Frecuentes (GF), Gramaticales Infrecuentes (GI), Violación sintáctica de GF; 4) Violación sintáctica de GI. Se observó un componente positivo tardío para las oraciones infrecuentes, siendo este efecto más temprano en las gramaticales (600-800ms) que en las violaciones sintácticas (800-1000ms). Adicionalmente, las violaciones sintácticas generaron positivities mayores (800-1200ms). La topografía del efecto de frecuencia fue más frontal, mientras que el efecto de gramaticalidad fue más posterior. Nuestros resultados sugieren que el componente P600 podría reflejar procesos probabilísticos, pero no descartan un solapamiento parcial entre éstos mecanismos y la aplicación de reglas sintácticas.

Palabras clave: Lenguaje-Sintaxis-Reglas-P600

### Does the frequency of use affect syntax structure processing? An ERP study

#### Abstract

Classic theories of grammar processing propose a discrete combinatorial system that applies algebraic-like rules to syntax parsing. An ERP elicited by syntactic anomalies, the P600 is considered an index of parsing processing demands. An alternative possibility is that syntax structure is processed as a probabilistic mapping of co-occurrences between word categories. Classic theories predict that grammatical but infrequent sentences will not elicit a P600, while probabilistic theories propose that infrequent word-combinations will be processed in a similar way to ungrammatical sentences. The present study compared potential frequency and grammaticality ERP effects during syntax processing. Three verbs were employed which could be followed by two structures with different frequencies of use: a) Infinitival clause (IC, 80%) and b) Complement clause (CC, 20%). Four types of sentences were shown: Frequent Grammatical (FG), Infrequent Grammatical (IG), syntax violation of FG, syntax violation of IG. A late positive component was observed after infrequent sentences, being earlier in grammatical sentences (600-800 ms) than in syntax violations (800-1000 ms). Additionally, syntax violations elicited larger positivities (800-1200 ms). The topography of the frequency effect was more frontal, while the grammaticality effect was more posterior. Our results suggest that P600 component could be reflecting probabilistic processing, but do not rule out a partial overlapping between these mechanisms and syntax rule application.

Key words: Language - Syntax - Rules - P600

#### Introducción

La técnica de potenciales relacionados con eventos (PRE) permite detectar en el trazado

electroencefalográfico componentes asociados a procesos perceptuales o cognitivos, caracterizados por una latencia de aparición y una distribución topográfica particulares. En el campo de la neurolingüística, una

\* Instituto de Biología y Medicina Experimental/CONICET.

Vuelta de Obligado 2490, (C1428ADN). Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina. Teléfono: 11 4783-2869 Int. 235. E-mail: angeltabullo@ibyme.conicet.gov.ar

\*\*Instituto de Lingüística, Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires. Argentina.

amplia variedad de estudios han identificado componentes asociados al procesamiento sintáctico. Experimentos en los que los sujetos observan o escuchan oraciones que contienen anomalías estructurales (“el león en *ruge*”) o morfológicas (“el faro es *altas*”) han registrado una respuesta bifásica caracterizada por una negatividad anterior izquierda, más temprana en el primer caso (“Early Left Anterior Negativity” – ELAN), con una latencia de 125 a 200 ms (Friederici et al., 1993; Hahne & Friederici, 1999; Lau, Stroud, Plesch, & Phillips, 2006; Neville et al., 1991), y más tardía en el segundo (“Left Anterior Negativity” – LAN, de 300 a 500 ms) (Coulson, King, & Kutas, 1998a; Friederici et al., 1993; Gunter, Friederici, & Schriefers, 2000; Hagoort, Wassenaar, & Brown, 2003a). En ambos casos, estas negatividades tempranas son seguidas por una positividad de distribución posterior y aparición más tardía, que alcanza su máximo alrededor de los 600 ms posteriores a la aparición de la palabra anómala o crítica. Esta positividad ha sido denominada P600 o “Syntactic-Positive-Shift” (SPS) (Friederici, Pfeifer & Hahne, 1993; Hagoort, Brown, & Groothusen, 1993; Neville, Nicol, Barss, Forster, & Garrett, 1991; Osterhout & Holcomb, 1992; Osterhout, Holcomb, & Swinney, 1994). Por otro lado, el componente P600 ha sido observado no solamente en casos de violaciones sintácticas, sino también en oraciones correctas, pero estructuralmente ambiguas (como es el caso de las denominadas “garden-path”) (Osterhout & Holcomb, 1992; Osterhout, Holcomb, & Swinney, 1994) o complejas (Featherston, Gross, Müte, & Clahsen, 2000; Kaan, Harris, Gibson, & Holcomb, 2000). Estos PRE han sido interpretados como correlatos neurales funcionales de diferentes etapas del procesamiento sintáctico. Mientras que las negatividades anteriores reflejarían procesos tempranos y automáticos de análisis estructural, el P600 estaría asociado a procesos más tardíos y controlados (Hahne and Friederici, 1999). Se ha propuesto que la naturaleza de estos últimos podría ser de reanálisis sintáctico (en los casos de ambigüedad sintáctica) o reparación (en los casos de violaciones) (Friederici, 1995; Osterhout and Holcomb, 1992) o bien que podría tratarse una dificultad general para integrar el input más reciente con la estructura sintáctica previamente construida (Kaan, et al, 2000).

Una posibilidad alternativa es que el componente P600 constituya la respuesta a un evento sintáctico inesperado o improbable. De acuerdo a esta interpretación, las violaciones sintácticas constituirían un caso extremo de baja probabilidad de ocurrencia, mientras que combinaciones de palabras gramaticalmente correctas, pero infrecuentes, también deberían generar un componente P600 en relación a otras combinaciones de uso más frecuente. La posibilidad de que el P600 estuviera reflejando violaciones de expectativa había sido planteada en los primeros estudios con oraciones garden-path, donde se propuso que los efectos P600 podían ser explicados por sesgos en la expectativa de aparición de diferentes complementos verbales posibles, derivadas de la información de subcategorización del verbo principal (Osterhout et al., 1994). Adicionalmente, se ha

observado que el componente P600 es sensible a manipulaciones de tipo probabilísticas (a diferencia de las negatividades anteriores, para las que no se ha observado este efecto). Estudios que compararon condiciones experimentales donde las violaciones sintácticas eran relativamente escasas (20-25% de los ensayos) o extremadamente frecuentes (75-80% de los ensayos) mostraron que el P600 estuvo ausente o se redujo drásticamente en los casos donde las anomalías eran más frecuentes y por lo tanto, más esperadas (Gunter et al., 1997; Coulson et al., 1998; Hahne y Friederici, 1999). No obstante, la predicción de que el componente P600 debería ser observado ante estructuras sintácticas gramaticalmente correctas, pero de baja probabilidad de ocurrencia, aún no se ha verificado experimentalmente de forma directa.

En un estudio previo realizado con gramáticas artificiales (Tabullo et al., 2011) se observaron efectos de la frecuencia de exposición sobre la actividad EEG evocada por el procesamiento de diferentes estructuras. En este trabajo, se entrenó a los sujetos en una gramática artificial que consistía en secuencias de categorías de pseudopalabras que admitía dos estructuras posibles. La estructura elegida como “frecuente” fue presentada en dos tercios de los ensayos del entrenamiento, y la estructura “infrecuente” el tercio restante. Durante la fase de test, se presentaron a los sujetos nuevas secuencias, la mitad correctas con estructura frecuente o infrecuente, y la mitad conteniendo violaciones estructurales. A pesar de que los sujetos tuvieron un desempeño comparable en las secuencias correctas frecuentes e infrecuentes, su actividad EEG fue diferente para ambos tipos de estímulo. En una fase inicial (560-660 ms), las violaciones estructurales y las secuencias correctas infrecuentes generaron una positividad ampliamente distribuida con respecto a las secuencias correctas frecuentes. En una segunda fase (660-900 ms), el componente fue más posteriormente distribuido, y distinguió a las secuencias correctas de las violaciones estructurales (independientemente de la frecuencia). La topografía y distribución de este componente fueron comparables a las del P600 observado en contextos lingüísticos. Se interpretó que este componente podía estar reflejando violaciones de expectativa durante el procesamiento de las secuencias, generadas a partir de la frecuencia de exposición a las diferentes estructuras combinatorias durante el entrenamiento. Si bien estos resultados no son directamente transferibles a un contexto lingüístico, es posible que efectos similares se observen al analizar el procesamiento de estructuras sintácticas del lenguaje natural con diferente frecuencia de uso. Si las estructuras gramaticalmente correctas, pero infrecuentes, generan un P600 comparable al de las violaciones sintácticas, esto sugeriría que el componente está reflejando la violación de una expectativa basada en una predicción de la estructura sintáctica más probable. Por el contrario, si no hubiera diferencias entre estructuras frecuentes e infrecuentes, pero sí entre ambas y las violaciones sintácticas, este resultado favorecería una interpretación estructural y no probabilística de los procesos vinculados al componente.

El objetivo del presente estudio fue analizar la

actividad EEG generada por el procesamiento de violaciones sintácticas y estructuras gramaticalmente correctas con diferentes frecuencias de uso. En particular, se propuso comparar los efectos de la frecuencia de uso y de la gramaticalidad de la estructura sobre el componente P600.

## Método

### Participantes

16 (10 mujeres) adultos sanos, de entre 18 y 30 años participaron voluntariamente del experimento. Todos los participantes eran diestros, hablantes nativos de castellano rioplatense y con estudios terciarios completos o en curso. Ninguno tenía antecedentes de desórdenes neurológicos o psiquiátricos, ni se encontraban bajo medicación psicoactiva alguna al momento del experimento. Previo al experimento los participantes firmaron un consentimiento informado, el cual se encontraba aprobado junto con el protocolo

experimental por el Comité de Ética del IBYME.

### Materiales

Para la construcción de los estímulos, fueron seleccionados tres verbos (recomendar, prohibir, permitir) que admiten tres combinaciones sintácticas posibles de acuerdo a la naturaleza categorial del complemento directo: objeto nominal (ON), cláusula de infinitivo (CI) y cláusula finita (CF). Si bien las tres combinaciones son igualmente válidas desde el punto de vista gramatical, se han observado preferencias por ciertas estructuras en un estudio previo de producción de oraciones (Sevilla et al., 2008, Tabla 1). Según este trabajo, la proporción de frases completadas con cláusulas de infinitivo fue mayor (doble o más) que la de cláusulas finitas, para todos los verbos. En base a estos resultados, inferimos que la frecuencia de producción de CI supera a la de CF, y seleccionamos dichas estructuras para estudiar los efectos de la frecuencia.

**Tabla.1: Porcentaje de preferencias por: cláusula de infinitivo, cláusula finita y objeto nominal en un estudio previo de completamiento de oraciones (Sevilla, et al., 2008)**

| Verbo     | % Respuestas             |                      |                     |
|-----------|--------------------------|----------------------|---------------------|
|           | Cláusula Infinitivo (CI) | Cláusula finita (CF) | Objeto Nominal (ON) |
| Recomendó | 57                       | 33                   | 10                  |
| Prohibió  | 88                       | 10                   | 2                   |
| Permitió  | 78                       | 20                   | 2                   |

Se construyeron 160 oraciones distribuidas en 4 condiciones experimentales: 1) “gramatical frecuente” (oraciones en las que se utilizó como complemento una CI, por ejemplo “*La ecónoma les recomendó a las señoras redecorar el living.*”); 2) “gramatical infrecuente” (oraciones en las que el complemento del verbo era una CF, por ejemplo “*El capitán les prohibió a los marineros que arrojaran el ancla.*”); 3) violación de estructura frecuente (en las que se presentaba un gerundio en lugar del verbo en infinitivo en la CI, por ejemplo: “*El emperador les prohibió a los ministros asumiendo sus cargos.*”; 4) violación de estructura infrecuente (en las que se presentaba un infinitivo en lugar de un verbo conjugado en la CF, por ejemplo: “*La resolución les permitió a los empresarios que reducir los salarios.*”). En cada ejemplo, la palabra crítica que determina si se trata de una estructura frecuente, infrecuente o de una violación, aparece indicada en negrita.

### Procedimiento

Las oraciones fueron presentadas en forma audiovisual, sincronizando la aparición de las palabras en la pantalla con su reproducción en los parlantes. Se les dio a los sujetos la instrucción de clasificar las oraciones como correctas o incorrectas presionando dos teclas distintas. Durante el experimento se registró la

actividad EEG con un equipo AKONIC BIO-PC de 19 canales (sistema 10/20) a 256 Hz. Los registros fueron filtrados off-line entre 0.5 y 30 Hz y procesados con el software EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004). Para el cálculo de los Potenciales Relacionados con Eventos (PREs), se incluyeron solamente aquellos ensayos en los que la respuesta fue correcta y el trazado estuviera libre de artificios. Cada época abarcó 200 ms previos (línea de base) y 1800 ms posteriores a la aparición de la palabra crítica en cada oración (*Gramatical frecuente*: verbo en infinitivo; *Gramatical Infrecuente*: “que”; *Violación de estructura frecuente*: gerundio; *Violación de estructura infrecuente*: verbo en infinitivo).

### Análisis de datos

El porcentaje de aciertos y los tiempos de respuesta de los sujetos fueron analizados mediante un ANOVA de medidas repetidas con “Frecuencia de la estructura” (frecuente, infrecuente) y “Gramaticalidad” (oración correcta, violación sintáctica) como factores intrasujeto. Se utilizaron contrastes de Bonferroni para las comparaciones post-hoc. De manera similar, para los datos de EEG se analizó el voltaje promedio de cada ventana temporal considerada mediante un ANOVA de medidas repetidas con los siguientes factores intrasujeto: “Región del electrodo” (anterior, central,

posterior), “Posición lateral del electrodo” (1 a 5, de izquierda a derecha), “Frecuencia de la estructura (frecuente, infrecuente), “Gramaticalidad” (oración correcta, violación sintáctica). Se aplicó el ajuste de Greenhouse-Geisser para corregir violaciones a la esfericidad.

## Resultados

En el porcentaje de aciertos, se observó una interacción Frecuencia Gramaticalidad [ $F(1,15)=0,055$ ,  $p=0,009$ ]. Los sujetos respondieron mejor en las violaciones sintácticas de estructuras infrecuentes (98,6%) que en las frecuentes (95,2). Esta diferencia fue marginalmente significativa en las comparaciones múltiples ( $p=0,056$ ). A pesar de este efecto, el

rendimiento promedio en todas las condiciones experimentales fue superior al 90% (ver Tabla 2). En los tiempos de respuesta, se observó un efecto principal de Gramaticalidad [ $F(1,15) = 24,368$ ,  $p<0,001$ ] y una interacción Frecuencia Gramaticalidad [ $F(1,15) = 24,850$ ,  $p<0,001$ ]. Los sujetos respondieron más rápidamente en las violaciones sintácticas que en las oraciones gramaticalmente correctas, y dentro de las violaciones sintácticas, las respuestas fueron más rápidas para las violaciones de estructura infrecuente comparada con las de estructura frecuente (750,26 ms vs. 968,01 ms respectivamente;  $p=0,001$ ).

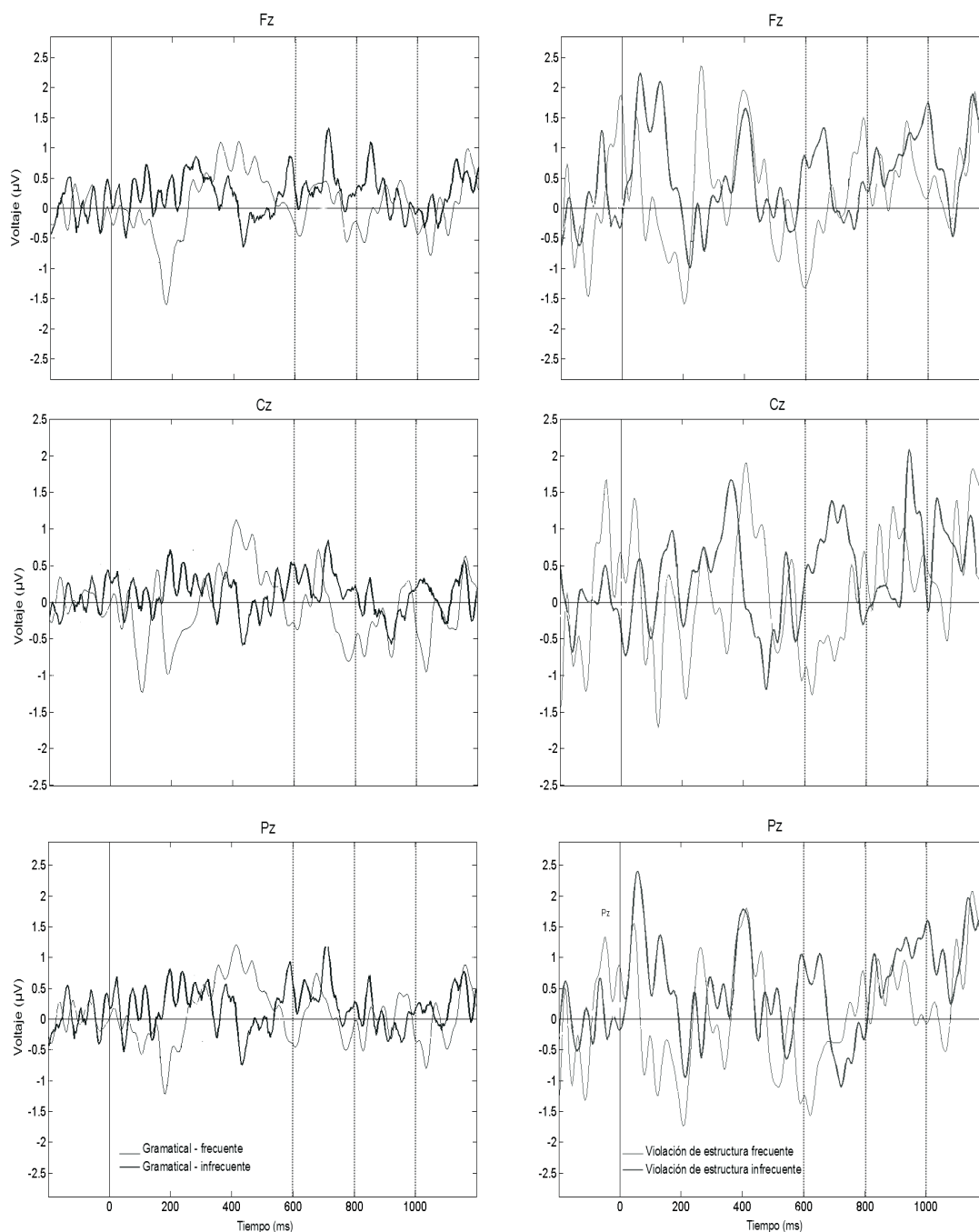
**Tabla 2. Media, desvío estándar y error estándar de las variables comportamentales (porcentaje de aciertos y tiempos promedio de respuesta)**

| Condición experimental              | Porcentaje de aciertos |                 |                | Tiempos de respuesta |                 |                |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|----------------|----------------------|-----------------|----------------|
|                                     | Media                  | Desvío estándar | Error estándar | Media                | Desvío estándar | Error estándar |
| Gramatical - Frecuente              | 96,16                  | 7,8             | 1,95           | 942,69               | 205,6           | 51,4           |
| Gramatical - Infrecuente            | 97,3                   | 3,04            | 0,76           | 811,83               | 154,76          | 38,69          |
| Violación en estructura frecuente   | 95,23                  | 8,44            | 2,11           | 968,01               | 199,76          | 49,94          |
| Violación en estructura infrecuente | 98,6                   | 1,72            | 0,43           | 750,26               | 173,68          | 43,42          |

A partir de la inspección visual del Gran Promedio (Figura 1) se determinaron tres ventanas temporales de interés (600-800 ms; 800-100 ms; 1000-1200 ms) en dónde pudo observarse un componente positivo tardío a partir de los 600 ms posteriores a la aparición de la palabra crítica en cada oración. En la ventana más temprana (600-800ms), se encontró una interacción Región Error Frecuencia [ $F(2,30) = 4,239$ ,  $p=0,038$ ].

Las oraciones gramaticales infrecuentes generaron una positividad mayor que las frecuentes ( $p=0,039$ ), en particular en los canales frontocentrales (Figuras 2 y 3). Por otro lado, Las violaciones sintácticas generaron positivities menores que las oraciones correctas en los canales posteriores (Figuras 2 y 3;  $p=0,035$ ) (Interacción Región Error;  $F(2,30)=9,284$ ,  $p=0,006$ ).

**Figura 1. Promedios generales por condición experimental en tres canales de la línea media (Fz, Cz y Pz) para las estructuras gramaticales (izquierda) y las estructuras agramaticales (derecha). Las líneas punteadas indican las ventanas de interés analizadas**

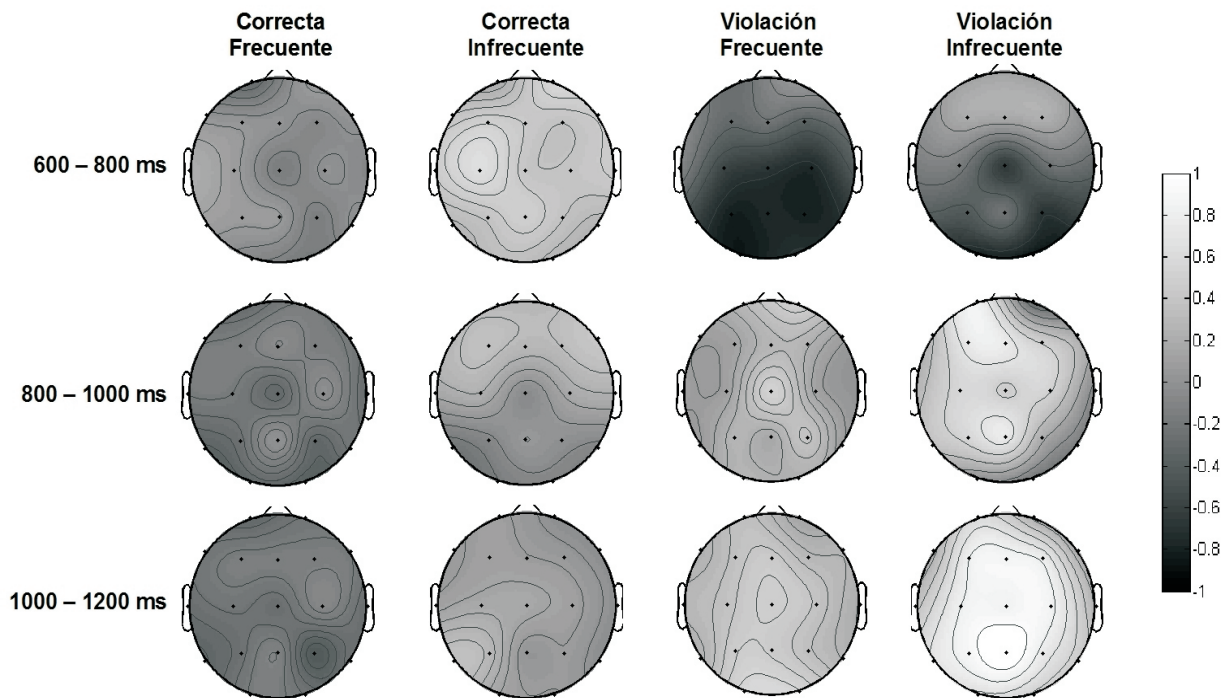


En la ventana intermedia (800-1000 ms), se encontró una interacción Región Lateral Error Frecuencia;  $F(8,112)=2.126$ ,  $p=0,039$ . Por un lado, las oraciones con estructura infrecuente generaron positivities mayores que las de estructura frecuente en los canales frontales, en ambas condiciones experimentales ( $p=0,036$ ). Por otra parte, las violaciones sintácticas generaron potenciales más positivos que las oraciones correctas en canales centrales (Figuras 2 y 3;  $p=0,036$ ) y posteriores

( $p=0,032$ ).

En la ventana tardía (1000-1200 ms), se observó un efecto principal de gramaticalidad [ $F(1,15) = 15,862$ ,  $p = 0,001$ ]. Las violaciones sintácticas generaron una positividad mayor que las oraciones correctas, sin diferencias entre estructuras frecuentes e infrecuentes (Figuras 2 y 3).

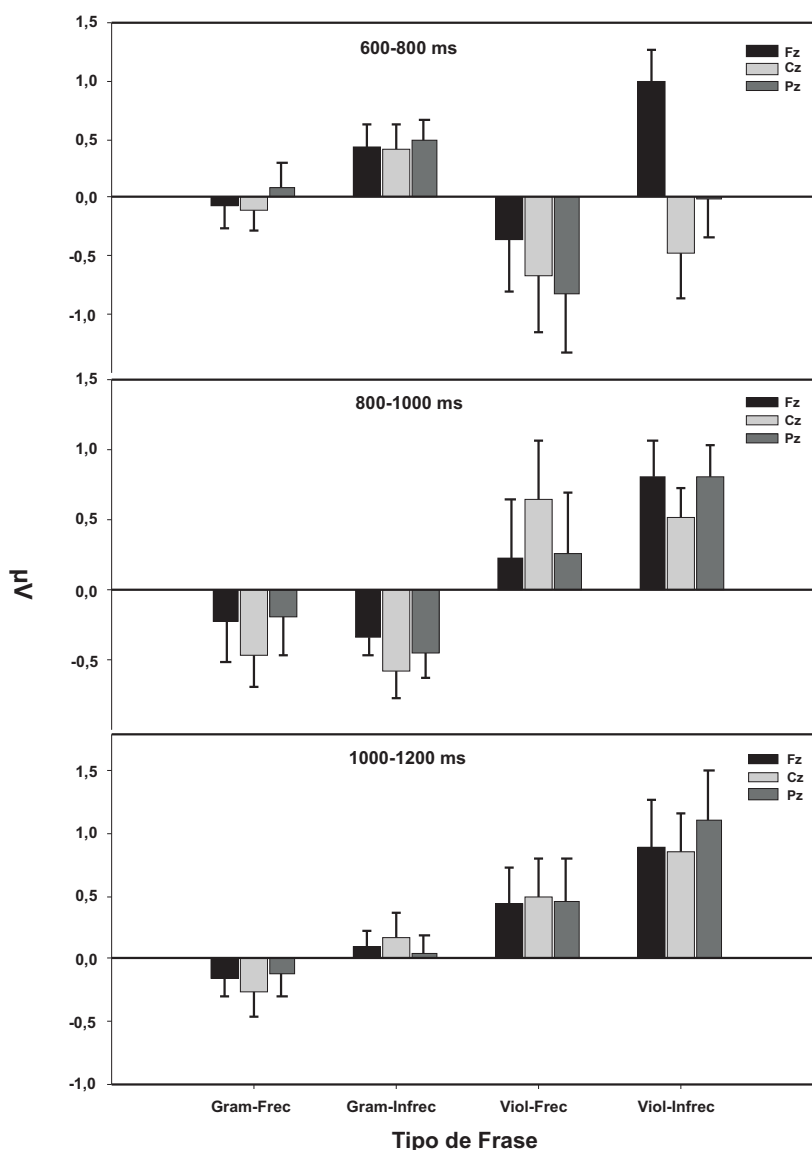
**Figura 2. Topografías por condición experimental en las tres ventanas temporales analizadas. La escala se encuentra en  $\mu$ Volts**



Dado que las palabras críticas de la CI y la CF difieren en su clase lexical (en la CI, el verbo en infinitivo pertenece a las palabras de clase abierta, mientras que en la CF, la conjunción “que” es una palabra de clase cerrada), sería esperable encontrar un correlato de estas diferencias en la actividad EEG. En un estudio previo, se han identificado negatividades anteriores asociadas a palabras de clase cerrada en la ventana de 400-700 ms, ausentes en palabras de clase abierta (Neville, 1992). Por lo tanto, se compararon las oraciones correctas frecuentes e infrecuentes en una ventana temporal más temprana (350 a 550 ms), a fin de identificar posibles efectos de la clase lexical. Se analizó el voltaje promedio en esta ventana con un ANOVA de medidas repetidas con los factores: “Región del

electrodo” (anterior, central, posterior), “Posición lateral del electrodo” (1 a 5, de izquierda a derecha), “Tipo de palabra”(clase abierta, clase cerrada). Se observó una interacción Región Posición lateral Tipo de palabra [ $F(8, 120) = 2.712, p=0.009$ ]. Las palabras de clase cerrada (oraciones CF) generaron una negatividad mayor en los canales de la línea media centrales ( $p=0.020$ ) y posteriores ( $p=0.039$ ).

**Figura 3. Medias y error típico en los tres canales centrales para cada tipo de frase y cada ventana temporal analizada**



## Discusión

El análisis de los datos comportamentales indicó que, a pesar de la escasa dificultad de la tarea, la gramaticalidad de las oraciones y la frecuencia de uso de los complementos verbales tuvieron efectos sobre el rendimiento de los sujetos y su velocidad de respuesta. Concretamente, se observó un mejor desempeño y respuestas más veloces para las violaciones sintácticas, y en particular, para las violaciones de estructuras sintácticas infrecuentes (aunque este último efecto fue más significativo en los tiempos de respuesta que en el porcentaje de aciertos). Estos resultados sugieren que los errores sintácticos pueden haber resultado más salientes para los sujetos (en particular, en el contexto de una tarea de detección de errores), facilitando así la preparación de su respuesta. Es posible que, en las oraciones con estructuras sintácticas infrecuentes, la

aparición de una categoría sintáctica inesperada (la conjunción “que” en lugar del verbo en infinitivo que correspondería a una cláusula de infinitivo) haya contribuido al efecto de encontrar una forma verbal incorrecta, aumentando aún más la saliencia de los estímulos y dando lugar a la interacción observada. Este efecto de frecuencia, no obstante, no fue significativo en las oraciones gramaticalmente correctas.

El análisis de los potenciales relacionados con eventos mostró que la frecuencia de uso de las estructuras sintácticas (estimada a través de su frecuencia de producción) tuvo efectos sobre el componente P600, si bien la topografía y curso temporal de estos efectos fue diferente de la del efecto clásico de violaciones sintácticas. Mientras que las oraciones gramaticales infrecuentes generaron una positividad más temprana y frontocentralmente distribuida, el efecto de las violaciones sintácticas fue de

inicio más tardío y se prolongó hasta la última de las ventanas temporales. Por último, en la ventana intermedia, se observaron indicios de ambos efectos.

La positividad temprana y frontalmente distribuida generada por oraciones gramaticalmente correctas, pero infrecuentes, sugiere que el componente P600 podría estar reflejando, al menos en parte, la violación de una expectativa de tipo sintáctica (en este caso, la de encontrar una cláusula de infinitivo en lugar de una cláusula finita después del verbo principal). Esto sugiere, a su vez, que procesos de predicción basados en asociaciones probabilísticas entre categorías de palabras pueden tener lugar durante el procesamiento de la sintaxis de las oraciones. En el caso de las oraciones de nuestro estudio, el verbo principal se asocia con mayor probabilidad a una CI que a una CF, por lo cual la aparición de la CF (estructura infrecuente) constituye una violación de la expectativa generada. Evidencia de estudios anteriores apoya la posibilidad de que el componente P600 sea sensible a manipulaciones probabilísticas. Se ha observado que el P600 ante anomalías estructurales puede reducirse o desaparecer en contextos experimentales donde las violaciones sintácticas son más frecuentes (y por lo tanto, más esperadas) que las oraciones gramaticalmente correctas (presentadas sólo en un 20% de los casos) (Gunter et al., 1997; Coulson et al., 1998; Hahne and Friederici, 1999). Asimismo, se ha observado que oraciones gramaticalmente correctas pueden generar un P600 cuando su frecuencia de presentación es relativamente inferior a la de las violaciones sintácticas (Coulson et al., 1998). Cabe destacar que los resultados coinciden con los de un estudio de diseño similar (Tabullo et al., 2011), realizado con gramáticas artificiales, en el que también se observaron efectos de frecuencia sobre el P600 en una ventana temprana, y efectos de gramaticalidad en una ventana tardía. La topografía de dichos efectos también fue similar a la observada en el presente estudio: mientras que la positividad asociada a una menor frecuencia tuvo una distribución frontocentral, el efecto de violación sintáctica fue significativo en los canales posteriores. Esta diferencia de latencias y topografías no permite explicar al componente en términos netamente estructurales o probabilísticos, sino que sugiere que tanto procesos de predicción probabilística, como de aplicación de reglas sintácticas podrían estar vinculados a este tipo de actividad. Estudios futuros de EEG con mayor número de canales y aplicación de algoritmos de localización de generadores neurales permitirían identificar las regiones cerebrales donde estos efectos se originan, y determinar si éstas se solapan o no. Por otro lado, estudios anteriores han señalado que el P600 probablemente no sea el correlato de una actividad única, sino el producto de diversos procesos sintácticos que contribuyen diferencialmente a determinar su latencia y topografía (Gouvea, 2009).

Adicionalmente, nuestros resultados son congruentes con los de un estudio similar (Osterhout, 1994), en el que se analizaron los efectos de las preferencias de subcategorización en verbos ditransitivos, con preferencia de uso transitivo o

intransitivo, en oraciones de tipo garden path. En este experimento, en el que el complemento del verbo consistía en una frase nominal, los verbos con sesgo transitivo inducían un análisis erróneo del complemento como objeto del verbo, mientras que los verbos con sesgo intransitivo conducían a un análisis correcto de "sujeto de la cláusula". Se observó un componente P600 en los casos en los que la preferencia de subcategorización del verbo conducía a un análisis erróneo, aunque de menor magnitud que el P600 generado por violaciones sintácticas. Los autores sugieren que la amplitud del P600 observado podría ser una función de la expectativa sintáctica generada por las preferencias de subcategorización del verbo. Desde una perspectiva probabilística, estas preferencias podrían derivarse de la frecuencia de uso, y estar representadas como asociaciones entre los verbos y diferentes combinaciones de categorías de palabras.

Por otro lado, nuestros resultados no son congruentes con los del estudio de Pulvermuller et al. (2007), en el que se comparó el procesamiento de combinaciones de palabras gramaticalmente incorrectas con combinaciones correctas y frecuentes, y combinaciones correctas, pero muy poco comunes. En este trabajo, se registró con magnetoencefalografía el procesamiento de pares de palabras con alta o baja probabilidad de ocurrencia, y pares sintácticamente incorrectos. Se observó un componente negativo temprano (160-200 ms), denominado syntactic mismatch negativity (sMMN), que distinguió las combinaciones no gramaticales de las gramaticales, pero no distinguió a las combinaciones frecuentes e infrecuentes entre sí. Los autores interpretaron este resultado en favor de la hipótesis de un sistema combinatorio discreto de reglas para el análisis sintáctico, y en contra de un sistema de predicciones basado en probabilidades de asociación entre categorías de palabras. Si bien nuestros resultados no coinciden con Pulvermuller et al., vale notar que ambos estudios no resultan directamente comparables: en nuestro caso, los efectos de frecuencia tienen lugar en ventana de tiempo más tardía (después de los 600 ms), y provienen de un tipo diferente de estímulos (oraciones completas en lugar de pares de palabras). Por otra parte, las tareas experimentales fueron diferentes en ambos estudios: en nuestro experimento se le pidió a los sujetos que clasificaran las oraciones como correctas o incorrectas, mientras que en el de Pulvermuller los pares de palabras fueron escuchados mientras los sujetos atendían a estímulos visuales. Adicionalmente, es posible que los fenómenos observados sean cognitivamente diferentes: por su aparición temprana, la sMMN podría reflejar procesos automáticos de construcción de estructura de la frase, de manera similar a la negatividad anterior temprana izquierda (early left anterior negativity - ELAN), mientras que el componente P600 correspondería a procesos posteriores y más controlados. Otro resultado relevante es la evidencia de que las manipulaciones de probabilidad que tienen efectos sobre el P600 no afectaron a la ELAN en estudios previos (Hahne and Friederici, 1999). Por último, cabe destacar que los mismos autores de Pulvermuller et al.

(2007) no descartan la posibilidad de coexistencia de mecanismos de mapeo probabilístico y de detección de violaciones sintácticas, así como la posibilidad de que un mapeo probabilístico distinga entre combinaciones sintácticas de baja o alta frecuencia y eventos de probabilidad nula (las violaciones).

Una explicación alternativa para las diferencias observadas entre las oraciones frecuentes e infrecuentes es que se deban a la naturaleza de la palabra crítica utilizada en cada caso. Mientras que en las oraciones frecuentes se trata de un verbo en infinitivo (palabra de clase abierta), en las oraciones infrecuentes la palabra crítica es la conjunción “que” (palabra de clase cerrada). Se ha observado que el procesamiento de palabras de clase abierta y cerrada tiene correlatos diferentes en la actividad electroencefalográfica (Neville, 1992). En particular, las palabras de clase cerrada producen una negatividad frontalmente distribuida en la ventana de 400 a 700 ms. En nuestro experimento, observamos un efecto similar, aunque de distribución algo más posterior, en la ventana de 350 a 550 ms. Si bien no podemos descartar que la categoría lexical de la palabra crítica haya tenido efectos también sobre el componente P600 (contaminando así el efecto de frecuencia previamente observado), el hecho de que ya hubiéramos observado este efecto en una ventana anterior podría considerarse como evidencia en contra de esta posibilidad. Para descartarla definitivamente, sería preciso repetir el experimento comparando una palabra crítica de la misma clase lexical en las oraciones frecuentes e infrecuentes.

Entre las limitaciones del presente estudio, debemos señalar la posibilidad de que el fenómeno de frecuencia que se pretende analizar haya sido enmascarado o solapado por posibles diferencias en la complejidad estructural de las oraciones. Dado que las estructuras frecuentes eran cláusulas de infinitivo y las estructuras infrecuentes cláusulas finitas, existe la posibilidad de que el componente observado esté reflejando diferencias en el costo de procesamiento de ambos tipos de estructura. No obstante, esta interpretación resulta improbable, dado que los efectos de complejidad estructural previamente reportados sobre el

componente tienen una topografía posterior (Kaan et al., 2000), diferente de la positividad frontal observada en nuestro trabajo. Aún así, estudios futuros deberían comparar la misma estructura sintáctica precedida por un verbo para el cualquier dicho complemento es más frecuente con casos donde es precedida por verbos que admiten la estructura, pero muestran un sesgo hacia otros complementos. Esta comparación también permitiría eliminar posibles efectos derivados de comparar palabras de clase abierta y clase cerrada.

Otra de las limitaciones de nuestro trabajo es que el tipo de violación sintáctica presentada fue de carácter morfológico (conjugación errónea del verbo), mientras que las expectativas generadas por la frecuencia de uso eran acerca de categorías sintácticas esperadas (verbo en infinitivo – más esperado, conjunción “que” – menos esperada) y no sobre formas verbales. Estudios futuros podrían beneficiarse de utilizar violaciones de estructura de frase, que podrían considerarse como un caso extremo de categoría sintáctica inesperada. Por último, el uso de una muestra relativamente reducida de sujetos podría considerarse como una limitación adicional de nuestro trabajo, sin embargo, estudios previos con muestras de tamaño similar han observado efectos significativos sobre este componente (Coulson et al., 1998, Osterhout et al., 1994).

En síntesis, observamos efectos de la frecuencia de uso sobre el componente P600 en oraciones gramaticalmente correctas, si bien estos efectos no coincidieron en tiempo y en topografía con los provocados por violaciones sintácticas. Nuestros resultados contribuyen al debate actual sobre la naturaleza del tipo de procesamiento que refleja el potencial P600, pues apoyan la hipótesis de que mecanismos de asociación probabilística pueden participar del procesamiento de la sintaxis, y que el P600 podría reflejar violaciones de expectativa basadas en dichas asociaciones. Es por tanto posible que el componente P600 esté reflejando un conjunto de fenómenos cognitivos y electrofisiológicos de naturaleza diversa que tienen lugar durante el procesamiento sintáctico.

## Referencias

- Chomsky, N. (1957). *Syntactic structures*. The Hague: Mouton.
- Coulson, S., King, J., Kutas, M. (1998). Expect the unexpected: event-related brain responses of morphosyntactic violations. *Language and Cognitive Processes* 13, 21–58.
- Elman, J. L., Bates, L., Johnson, M., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D., & Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness. A connectionist perspective on development*. Cambridge: MIT Press.
- Gunter, T.C., Stowe, L.A., Mulder, G., (1997). When syntax meets semantics. *Psychophysiology* 34, 660–676.
- Hahne, A., Friederici, A.D., (1999). Electrophysiological evidence for two steps in syntactic analysis. early automatic and late controlled processes. *Journal of Cognitive Neuroscience* 11, 2, 194–205.
- Hagoort, P., Brown, C.M., Groothusen, J., (1993). The syntactic positive shift (SPS) as an ERP-measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes* 8, 439–483.
- Kaan, E., Harris, A., Gibson, E., Holcomb, P., (2000). The P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language & Cognitive Processes* 15, 159–201.
- Neville H.J., Mills D.L., Lawson D.S. (1992). Fractionating language: different neural subsystems with different sensitive periods. *Cerebral Cortex* 2, 3, 244–258.
- Osterhout, L., Holcomb, P.J., (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and*

*Language* 3, 785-806.

Osterhout, L., Holcomb, P.J., Swinney, D.A., (1994). Brain potentials elicited by garden-path sentences: evidence of the application of verb information during parsing. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 20, 786-803.

Pinker, S. 1994. *The language instinct. How the mind creates language*. New York: Harper Collins.

Pulvermüller F, Assadollahi R. (2007). Grammar or Serial Order? Discrete Combinatorial Brain Mechanisms Reflected by the Syntactic Mismatch Negativity. *Journal of Cognitive Neuroscience* 19, 971-980.

Rogers, T. T., & McClelland, J. L. (2004). *Semantic cognition. A parallel distributed processing approach*. Cambridge: MIT Press.

Sevilla, Y., Jaichenco, V., Wilson, M., Raiter, A. (2008). Priming sintáctico en la producción de oraciones en español. Acerca de la representación sintáctica de los verbos. *Revista de Lingüística Teórica y Aplicada* 46 (2), 11-27.

Tabullo, A.; Sevilla, Y.; Pasqualetti, G.; Vernis, S.; Segura, E.; Yorio, A.; Zanutto, B. S.; Wainelboim, A. J. (2011). Expectancy modulates a Late Positive ERP in an artificial grammar task". *Brain Research* 1373, 131-143.

Ullman, M. T. (2001). A neurocognitive perspective on language: The declarative/procedural model. *Nature Reviews Neuroscience* 2, 717-726.

Fecha de recepción: 14-11-11

Fecha de aceptación: 07-05-12