

EL EFECTO SIMON ESTUDIADO CON POTENCIALES CEREBRALES RELACIONADOS CON EL MOVIMIENTO

Fernando del Valle-Inclán, Teresa Rumbo, Milagros Redondo y Juan Lamas
Universidad de La Coruña

El experimento se diseñó para diagnosticar el lugar donde se produce la interferencia en el efecto Simon (antes o durante el estadio de preparación de la respuesta), empleando potenciales cerebrales relacionados con el movimiento (el potencial de preparación lateralizado, «lateralized readiness potential», LRP). Se presentaba una flecha apuntando a derecha o izquierda de uno de los lados del punto de fijación, y los sujetos apretaban una tecla para indicar la dirección de la flecha. Los resultados mostraron el típico efecto Simon y la incompatibilidad espacial S-R se manifestó en una activación motora temprana de la respuesta incorrecta. Los resultados están de acuerdo con los modelos que postulan una activación automática de la respuesta ipsilateral (por ejemplo, Craft and Simon, 1970; Kornblum et al., 1990) y contradicen abiertamente los modelos de interferencia perceptiva como los propuestos por Hasbroucq y Guiard (1991) o Chen-Hui y Proctor (1994). Sin embargo, tenemos ciertas dudas de que el LRP entre los 100 y los 200 ms sea un índice de la preparación de respuesta, al menos en este experimento. La razón estriba en que los estímulos visuales presentados lateralmente producen asimetrías en la amplitud en el mismo rango temporal en los electrodos parietales y occipitales (N100), y datos de nuestro laboratorio, en proceso de análisis, sugieren que esta asimetría interhemisférica puede contaminar el LRP.

Simon effect using movement related brain potentials. The present study was aimed to diagnosis the locus of interference in the Simon effect (before or during the response-preparation stage) using movement-related brain potentials (the lateralized readiness potential, LRP). Arrowheads pointing left or right, were presented at either side of fixation and subjects pressed a key to indicate the direction of the arrow. The RTs showed the typical Simon effect and the spatial S-R incompatibility produced an early motor activation of the incorrect response. These results are in agreement with models which posit an automatic activation of the ipsilateral response (e.g., Craft and Simon, 1970; Kornblum et al., 1990) and in contradiction with perceptual interference models such as Hasbroucq and Guiard (1991) or Chen-Hui and Proctor (1994). However, we doubt that the LRP between 100 and 200 ms poststimulus is indexing response preparation, at least in this experiment. The reason is that lateralized presentation of visual stimuli produces amplitude asymmetries in the same temporal range (N100) at parietal and occipital sites, and we have gather preliminary evidence supporting that these interhemispheric amplitude differences might contaminated the ERPs recorded at central sites.

El efecto Simon (descrito inicialmente por Simon y Rudell, 1967, y así llamado

por Hegde y Marsh, 1975), aparece cuando se presentan estímulos a derecha e izquierda y los sujetos han de contestar apretando una de dos teclas lateralmente colocadas. En un experimento típico, los estímulos tienen un atributo relevante (color, forma, significado, etc.) y un atri-

Correspondencia: Fernando del Valle-Inclán
Dpto. de Psicología
Universidad de La Coruña
A Zapateira, La Coruña, 15071. Spain

buto irrelevante (localización espacial). El resultado es que el TR es menor cuando el estímulo y la respuesta son ipsilaterales. El efecto es muy consistente, se puede obtener en diferentes modalidades sensoriales y no desaparece con la práctica (ver la revisión de Simon, 1990).

Existen dos interpretaciones alternativas del efecto Simon. La más aceptada es un modelo con procesamiento paralelo de los dos atributos estímulares, una traducción S-R automática para la localización espacial (activación de la respuesta ipsilateral) y una traducción S-R bajo control de las instrucciones experimentales para el atributo relevante. Cuando la activación automática y la controlada son opuestas, se produce la interferencia (ver, por ejemplo, Craft y Simon, 1970; Kornblum, Hasbroucq y Osman, 1990). Para abreviar, llamaremos a esta hipótesis AARI (activación automática de respuesta ipsilateral). Esta interpretación supone que la interferencia se produce en el estadio de preparación de la respuesta, y, tal y como apuntaron Hedge y Marsh (1975, p. 436), «puede examinarse experimentalmente observando la dirección preliminar del movimiento en tareas que impliquen movimiento a una de dos posiciones de respuesta» (Hedge y Marsh se refieren a tareas en que los sujetos tienen la mano en una tecla central y han de desplazarla hasta la posición correcta). Esta idea puede reformularse para tareas bimanuales (esto es, sin desplazamiento de la mano desde una posición central hasta el lugar de la respuesta) empleando potenciales cerebrales relacionados con el movimiento. Este es el objetivo central de este trabajo.

La evidencia conductual más fuerte contra los modelos AARI viene del efecto Simon invertido (TRs menores cuando estímulos y respuestas son contralaterales) obtenido por primera vez por Hedge y Marsh (1975) y replicado por Simon, Sly

y Vilapakkam (1981) y Hasbroucq y Guiard (1991, exp. 1). Hedge y Marsh (1975, condición 1) presentaron una luz roja o verde a un lado de la fijación, y las respuestas se daban pulsando una de dos teclas (roja o verde). Emplearon dos asignaciones S-R («S-R mappings»): la directa («same-color mapping») en que los sujetos apretaban la tecla del mismo color que el estímulo, y la indirecta («alternate-color condition») en que la respuesta era apretar la tecla de color diferente (p.e., si el estímulo era rojo debían apretar la tecla verde). Obtuvieron el efecto Simon en la asignación S-R directa y el efecto inverso en la asignación S-R indirecta. Hedge y Marsh explicaron los resultados en términos de relaciones lógicas (identidad o inversión) entre atributos estímulares y respuestas, de forma que los TRs son menores cuando las relaciones S-R de los dos atributos son iguales que cuando son diferentes.

Simon, Sly y Vilapakkam (1981) replicaron los resultados y propusieron una explicación alternativa. Dado que los colores de las teclas permanecían constantes durante todo el experimento, en la mitad de los ensayos la luz de un color y la tecla del mismo color estaban del mismo lado, y esto originaba la inversión del efecto Simon.

Recientemente Hasbroucq y Guiard (1991) propusieron una interpretación del efecto Simon basada en la correspondencia de los atributos estímulares entre sí (congruencia estimular, «stimulus congruity») y no en la compatibilidad espacial S-R. En un análisis brillante, demostraron que las tareas empleadas para el efecto Simon confundían la compatibilidad espacial S-R con la congruencia estimular, de forma que los resultados podían atribuirse a cualquiera de los dos factores, o a una mezcla de ambos. Para evitar este efecto, Hasbroucq y Guiard (1991, exp. 2) diseñaron una tarea similar a Hedge y

Marsh (1975, condición 1) pero el color de las teclas de respuesta cambiaba aleatoriamente entre ensayos y se definía al mismo tiempo que la presentación de estímulos. Esta manipulación (empleada primero por Simon, Acosta, Mewaldt y Speidel, 1976, exp. 2, en una tarea de TR con estímulos auditivos) permite que S y R varíen independientemente en las dimensiones de color y posición (es decir, no existe congruencia estimular). Hasbroucq y Guiard razonaban que el efecto Simon debía mantenerse si se debe a compatibilidad espacial S-R, desaparecer si se debe a congruencia estimular y, si ambos factores son importantes, debía producirse una interacción convergente («underadditive interaction»). Sus resultados mostraron que la compatibilidad espacial S-R no era importante y los autores propusieron un modelo donde la interferencia se produce al final del estadio de evaluación perceptiva. Stoffels, Molen y Keuss (1989) llegaron a conclusiones similares al demostrar que el número de respuestas tenía efectos aditivos sobre el efecto Simon.

Las dos alternativas (interferencia antes o durante el estadio de preparación de la respuesta) pueden ponerse a prueba empleando los potenciales eléctricos cerebrales que preceden a la respuesta. El potencial de preparación lateralizado (lateralized readiness potential, LRP) es especialmente útil para investigar el efecto Simon (ver Coles, 1989, para una descripción del LRP). Resultados previos con el LRP sugieren que realmente se produce una activación ipsilateral automática. Osman, Bashore, Coles, Donchin y Meyer (1992) presentaron estímulos a derecha o izquierda del punto de fijación y pidieron a los sujetos que reaccionasen con la mano ipsilateral (asignación S-R compatible) o con la contraria (asignación S-R incompatible). La forma del target indicaba si había que responder (go trials) o no

(no-go trials). Sus resultados mostraron que la preparación de la respuesta comenzaba con una activación ipsilateral (aunque los autores propusieron otra interpretación). Valle-Inclán, Lamas, Mahía y Espinosa (1993) combinaron una tarea de Simon con una tarea de Eriksen (estímulos bilaterales, target definido por el color y localización del target irrelevante), y registraron el LRP, obteniendo evidencia de activación automática de respuesta ipsilateral. Estos resultados sugieren que existe una traducción S-R automática para la localización del estímulo, sea esta relevante (el experimento de Osman et al., 1992) o irrelevante (Valle-Inclán et al., 1993).

El LRP puede calcularse de muchas formas, pero todas ellas son equivalentes. Nosotros empleamos el método de Osman et al. (1992):

$$(C3' - C4')_{\text{mano izquierda}} - (C3' - C4')_{\text{mano derecha}}$$

pero el lugar de los electrodos es el usual de C3 y C4 (sobre el córtex motor del hemisferio izquierdo y derecho respectivamente). Con esta fórmula, las deflexiones positivas indican activación de la respuesta correcta y las negativas, activación de la respuesta incorrecta.

El experimento que presentamos utilizó como estímulos flechas presentadas a derecha o izquierda del punto de fijación y los sujetos debían indicar la dirección de la flecha apretando una de dos teclas colocadas a izquierda y derecha. Chen-Hui and Proctor (1994, exp. 3) emplearon una tarea similar y la clasificaron no como una tarea Simon, sino como una versión no verbal de Stroop espacial. Independientemente de la clasificación correcta de la tarea, los modelos AARI postulan una traducción S-R relativamente rápida para el atributo de localización espacial y una traducción S-R relativamente más lenta para el atributo relevante (la

forma, en este caso). De aquí se deriva que los modelos AARI predicen para los estímulos incompatibles (p.e., estímulo presentado a la derecha que requiere una respuesta de la mano izquierda) una deflexión inicial negativa (activación de la respuesta incorrecta, es decir, la respuesta ipsilateral), seguida por una deflexión positiva (activación de la respuesta correcta). Por el contrario, los modelos que suponen un locus de interferencia anterior al estadio de preparación de la respuesta, predicen latencias mayores para el LRP en los estímulos incompatibles que en los compatibles, pero sin que aparezca la deflexión negativa inicial.

Método

Sujetos

Once mujeres con edades comprendidas entre 19 y 22 años, diestras, con visión normal, participaron voluntariamente y recibieron créditos.

Aparatos y estímulos

Los estímulos eran flechas ('<', '>') blancas sobre fondo negro, apuntando a derecha o izquierda y presentadas a derecha o izquierda el punto de fijación durante 50 ms. Los estímulos se presentaban en un NEC Multysinc IIa colocado a 70 cm (alrededor de un grado de ángulo visual). Las respuestas se recogían en un teclado de ordenador. La tecla izquierda era la 'z' y la tecla derecha el '.' del teclado numérico. La presentación de estímulos y la recogida de respuestas se controló con un PC-AT compatible y un programa escrito en MEL (Schneider, 1990).

Registro EEG y EOG

Todos los registros se realizaron con electrodos de estaño. El EEG se registró

bipolarmente en C3-C4. Los movimientos oculares verticales se registraron bipolarmente con un electrodo colocado sobre la ceja derecha y otro sobre el pómulo derecho. Los movimientos oculares horizontales se registraron bipolarmente con un electrodo colocado a 2 cm del borde externo del ojo derecho y otro a 2 cm del borde externo del ojo izquierdo. Las impedancias para todos los electrodos estaban por debajo de los 5 KOhms. Las señales se amplificaron con un Grass (modelo 12) usando un pasa-banda de 0.01-30 Hz y se digitalizaron a 250 Hz. La adquisición de señales y el procesamiento posterior se realizaron con Neuroscan.

Procedimiento

El experimento se realizó en una cabina insonorizada, débilmente iluminada, y duraba 30 minutos. Se presentaban 5 bloques de 80 estímulos cada uno con pausas de 40 s entre dos bloques. Inmediatamente antes del experimento los sujetos recibían dos bloques de práctica. Cada ensayo comenzaba con un punto de fijación que permanecía en el centro de la pantalla hasta que desaparecía el estímulo. Un segundo después de la aparición de la fijación se presentaba el estímulo.

Análisis de datos

El EEG se transformó en «epochs» que comenzaban 200 ms antes del estímulo y se extendían hasta 700 ms después del estímulo. Se excluyeron del análisis los epochs con valores fuera + 50 uV en los registros EOG, o con respuestas incorrectas. Como línea base se empleó la media de los 200 ms pre estímulo. La LRP se calculó siguiendo a Osman et al. (1992).

Los tiempos de reacción se analizaron con un ANOVA con dos factores: localización del estímulo (2) y localización de

la respuesta (2). Los trazados de LRP se compararon punto a punto con MANOVAs con un único factor (compatibilidad espacial S-R). Se emplearon MANOVAs para evitar las violaciones de esfericidad. Sólo se consideraron significativos valores de p inferiores o iguales a 0.01. Para detectar dónde empezaban a diferenciarse los trazados LRP de la línea base, se comparó cada punto con el valor de la línea base usando la t de student. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el SPSS-PC.

Resultados

La figura 1 muestra los TR medios ordenados según el lugar del estímulo y el lugar de la respuesta. Se aprecia un claro efecto Simon (menor TR cuando estímulo y respuesta son ipsilaterales) que el

ANOVA demostró significativo: una interacción entre el locus de la respuesta y el locus del estímulo ($F(1,10)=47.0, p<0.0001$). Se aprecia también una mayor velocidad para las respuestas con la mano derecha ($F(1,10)= 13.5, p<0.004$).

La figura 2 muestra los LRP para estímulos compatibles (línea continua) y estímulos incompatibles (línea discontinua). Los dos tipos de ensayos muestran latencias similares, pero con direcciones diferentes, tal y como predicen los modelos AARI. El MANOVA comparando ensayos compatibles e incompatibles mostró diferencias entre los 132 y 308 ms ($F(1,10)=8.65-34.29, p<0.01-0.0001$) y las comparaciones de cada uno de los LRP con la línea base mostraron que los ensayos compatibles empezaban a diferenciarse a los 128 ms ($t(10)=3.6, p<0.005$) y los ensayos incompatibles se

Figura 1

TR medios para cada posición del estímulo y tipo de respuesta.

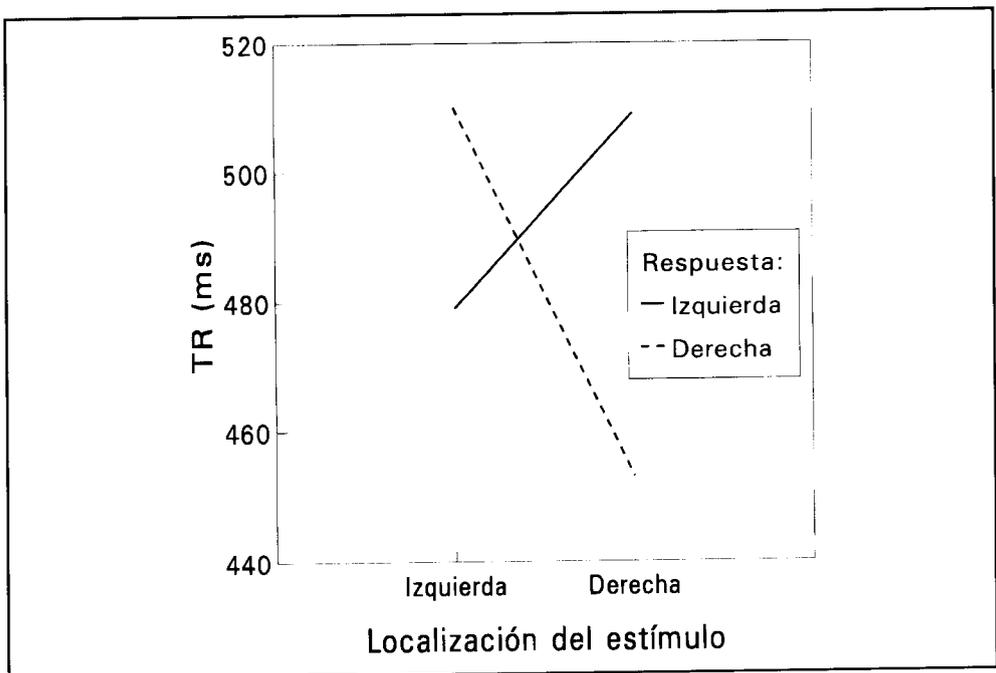
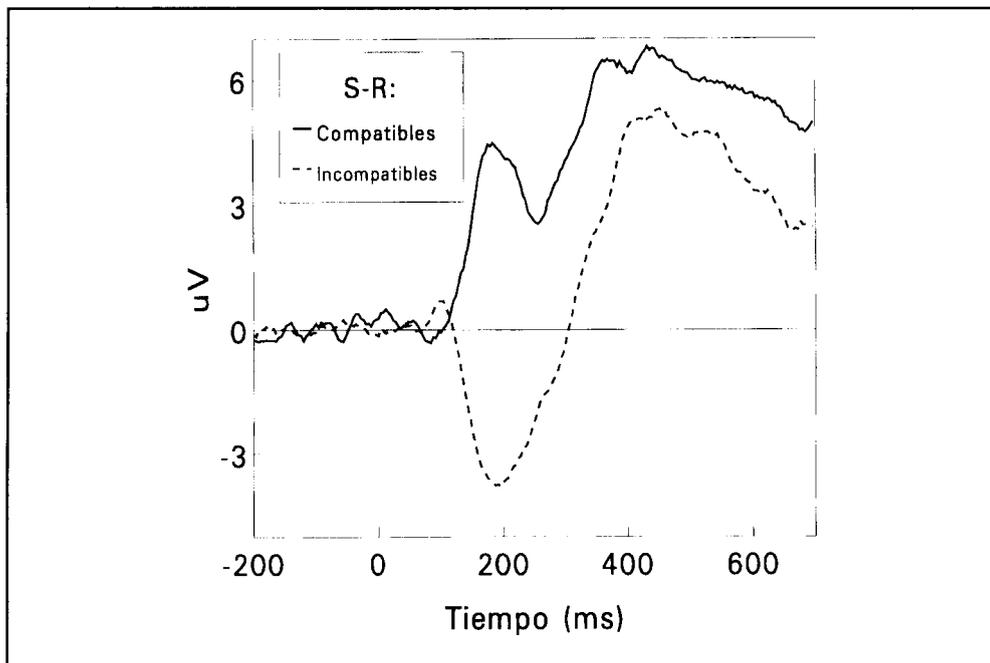


Figura 2

LRP (lateralized readiness potential) para ensayos compatibles (línea continua) e incompatibles (línea discontinua).



diferenciaban de la línea base a partir de los 148 ms ($t(10)=-3.1$, $p<0.01$).

Discusión

Los resultados conductuales muestran un claro efecto Simon, y los resultados con el LRP permiten ir un paso más allá del análisis del TR y observar qué sucede antes de que se produzca la respuesta. Los resultados con el LRP coinciden con las predicciones de los modelos AARI (ver Craft y Simon, 1970; Kornblum et al., 1990) contradiciendo las predicciones derivadas de Hasbroucq y Guiard (1991) y las conclusiones de Chen-Hui y Proctor (1994) que defienden la ausencia de activación de la respuesta ipsilateral.

Si bien los resultados fisiológicos parecen apoyar la activación automática de

la respuesta ipsilateral, es evidente que los modelos AARI no permiten explicar la inversión del efecto Simon (podría argumentarse que son procesos diferentes los que explican el efecto Simon y su inverso, pero parece un alternativa poco plausible). Dicho de otra forma, aunque los resultados sean consistentes con los modelos AARI, investigaciones más detalladas podrían obtener evidencia que favoreciese la interferencia perceptual. Este es el caso de los resultados con la latencia de P300 (ver la revisión de Ragot, 1990; Magliero et al., 1984). Prácticamente en todos los experimentos que registraron P300 se ha encontrado un aumento de latencia ante estímulos S-R incompatibles, y aunque el resultado no siempre ha sido estadísticamente significativo, el hecho de encontrar repetida-

mente un efecto debe llamarnos la atención (Magliero et al., 1984). Si se considera que la latencia P300 es un índice del tiempo que lleva analizar un estímulo (e.g., McCarthy y Donchin, 1981), aumentos en su latencia deben considerarse como evidencias a favor de interferencia perceptual, esto es, previa a la preparación de la respuesta.

Tomados en conjunto, nuestros datos y el aumento de latencia de P300 demostrado por otros autores, sugieren un modelo de procesamiento con dos locus de interferencia: uno en el estadio de evaluación estimular (tal y como indica la latencia de P300) y otro en el estadio de preparación de respuesta (tal y como parece indicar el LRP).

Sin embargo pudiera no ser así. Es conocido que la presentación lateralizada de estímulos visuales produce aumentos en la amplitud de N100 (100-200 ms) en los electrodos parietales y occipitales contralaterales, con un máximo en una zona intermedia entre P3 y O1, o P4 y O2. Es decir, si se consideran las respuestas con la mano derecha (controlada por córtex motor izquierdo), cuando el estímulo se presenta a la derecha (S-R compatibles), se producirá una mayor amplitud de N100 en el hemisferio izquierdo, mientras que si se presenta a la izquierda, N100 será más amplia en el hemisferio derecho.

Nosotros pensamos que estos potenciales generados en zonas posteriores podrían extenderse hasta C3 y C4, produciendo las primeras inflexiones del LRP. Si esto fuese así, lo que en este trabajo parece apoyar los modelos AARI, resultaría ser un artefacto. Una forma de probar esta hipótesis es registrar EEG de zonas occipitales y parietales y someterlo al mismo procesamiento que el

EEG registrado en C3-C4. Si es cierto que las porciones iniciales del LRP en este experimento son producto de la difusión de la N100 posterior, deberíamos encontrar una distribución posterior del potencial entre los 100 y los 200 ms. Datos de nuestro laboratorio, aún no publicados, indican que eso es, exactamente, lo que sucede. Una segunda forma de probar la hipótesis de la contaminación del LRP entre 100 y 200 ms por potenciales parieto-occipitales, sería cambiar la disposición de estímulos y presentarlos en un plano vertical. Hegde y Marsh (1975, condición SVRV) demostraron que con esa manipulación se mantiene el efecto Simon. Al eliminar la presentación lateralizada, desaparece la asimetría de N100, y, si esta es la responsable de los resultados LRP, el inicio de la lateralización motora sería más tardío y no aparecerían los signos de preparación de respuesta basados en la localización del estímulo. El experimento está realizándose en nuestro laboratorio y los análisis preliminares indican que, cuando los estímulos se presentan arriba o abajo del punto de fijación, y las respuestas se dan apretando teclas colocadas verticalmente, el LRP no refleja la activación de respuesta basada en la posición espacial del estímulo.

En conclusión, aunque los resultados de este experimento parecen apoyar los modelos AARI para explicar el efecto Simon, experimentos recientes de nuestro laboratorio sugieren que el LRP puede contaminarse con potenciales visuales, en concreto con la N100. Si esto se demostrase cierto, y nosotros pensamos que lo es, los ERP proporcionarían evidencia a favor de las hipótesis de interferencia perceptual (por ejemplo, Hasbroucq y Guiard, 1991).

Referencias

- Chen-Hui, L., & Proctor, R.W. (1994). Processing of an irrelevant location dimension as a function of the relevant stimulus dimension. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 286-298.
- Coles, M. G. H. (1989). Modern mind-brain reading: Psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology*, 26, 251-269.
- Craft, J. L., & Simon, J. R. (1970). Processing symbolic information from a visual display: Interference from an irrelevant directional cue. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 415-420.
- Hasbroucq, T., & Guiard, Y. (1991). Stimulus-response compatibility and the Simon effect: Toward a conceptual clarification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 246-266.
- Hegde, A., & Marsh, N. W. A. (1975). The effects of irrelevant spatial correspondences on two-choice response-time. *Acta Psychologica*, 39, 427-439.
- Magliero, A., Bashore, T. R., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1984). On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology*, 21, 171-186.
- McCarthy, G., & Donchin, E. (1981). A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, 211, 77-80.
- Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility: A model and taxonomy. *Psychological Review*, 97, 253-270.
- Osman, A., Bashore, T. R., Coles, M. G. H., Donchin, E., & Meyer, D. E. (1992). On the transmission of partial information: Inferences from movement-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 217-232.
- Ragot, R. (1990). Cerebral evoked potentials: Early indexes of compatibility effects. En R.W. Proctor, & T.G. Reeve (Eds.), *Stimulus-Response compatibility: An integrated perspective*, (pp. 225-239). Amsterdam: North-Holland.
- Schneider, W. (1990). *MEL user's guide: Computer techniques for real time experimentation*. Pittsburgh: Psychology Software Tools.
- Simon, J. R. (1990). The effects of an irrelevant directional cue on human information processing. En R.W. Proctor, & T.G. Reeve (Eds.), *Stimulus-Response compatibility: An integrated perspective*, (pp. 31-88). Amsterdam: North-Holland.
- Simon, J. R., Acosta, E. Jr., Mewaldt, S. P., & Speidel, C. R. (1976). The effect of an irrelevant directional cue choice reactions time: Duration of the phenomenon and its relation to stages of processing. *Perception & Psychophysics*, 19, 16-22.
- Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, 51, 300-304.
- Simon, J. R., Sly, P. E., & Vilapakkam, S. (1981). Effect of compatibility of S-R mapping on reactions toward the stimulus source. *Acta Psychologica*, 47, 63-81.
- Stoffels, E.J., van der Molen, M.W., & Keuss, P.J.G. (1989). An additive factors analysis of the effect(s) of location cues associated with auditory stimulation on stages of information processing. *Acta Psychologica*, 70, 161-197.
- Valle-Inclán, F. del, Lamas, J., Mahía, J., & Espinosa, P. (1993). ERP evidence for parallel perceptual and motor processing of spatial location (abstract). *Psychophysiology*, 30, supp. 1, S66.

Acceptedo el 10 de junio de 1994