

CRONOPSIKOFISIOLOGÍA

CRONOPSYCHOPHYSIOLOGY

SELENE CANSINO¹

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

RESUMEN

El tema central del presente documento es la investigación en cronopsicofisiología de los procesos mentales, un área de la psicofisiología cognoscitiva que se deriva del campo de estudio en cronometría mental. Se describe el concepto de cronometría mental, sus principales técnicas de medición, modelos de procesamiento humano de la información y diseños experimentales, ya que es de la cronometría mental de donde la cronopsicofisiología adquiere sus bases teóricas y metodológicas. Posteriormente, se especifican los componentes de potenciales evocados que han sido más utilizados en cronopsicofisiología. En seguida, se analizan los principales paradigmas experimentales que se han utilizado en cronopsicofisiología y se citan los estudios claves que han intentado dar respuesta a las grandes preguntas de investigación que se desprenden de los modelos de la cronometría mental. Finalmente, se realiza una integración crítica, se describen las principales variables experimentales con las etapas del procesamiento en que inciden, y se realiza un recuento de los avances más significativos que la cronopsicofisiología ha proporcionado al entendimiento del procesamiento humano de la información.

Palabras clave: cronopsicofisiología, cronometría mental, procesamiento humano de la información, potenciales evocados, diseños experimentales, psicofisiología cognoscitiva.

ABSTRACT

The topic of this paper is research on the chronopsychophysiology of mental processes, an area of cognitive psychophysiology derived from mental chronometry

¹ Este trabajo se realizó con apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, 4511-H) y de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA, IN 300495) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Correspondencia: Dra. Selene Cansino, Laboratorio de Psicofisiología Cognoscitiva, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 25-308, México, D. F., 03421, México.

research. The concept of mental chronometry is described along with its main measurement techniques. The review also addresses models of human information processing and experimental designs. All of these factors take into account the fact that mental chronometry provides the theoretical and methodological basis of chronopsychophysiology. Next, the components of evoked potentials, which have been more widely used in chronopsychophysiology, are considered. The primary experimental paradigms that have been used in chronopsychophysiology then are analyzed. This in turn is followed by an outline of the key experiments that have attempted to answer key questions derived from mental chronometry models. Finally, a critical integration is undertaken in which the primary experimental variables and the processing stages that they affect are described. The review concludes with a summary of the most significant contributions of chronopsychophysiology to the understanding of human information processing.

Key words: chronopsychophysiology, mental chronometry, human information processing, event-related potentials, experimental designs, cognitive psychophysiology.

El análisis experimental de la conducta y la psicología cognoscitiva comparten cada vez más intereses comunes. El análisis experimental de la conducta se ha caracterizado desde sus orígenes por explicar la conducta funcional de los organismos a partir del desarrollo de experimentos con estrictos controles metodológicos. Esta experiencia metodológica ha sido sin duda, base importante para el desarrollo de diseños experimentales en psicología cognoscitiva. A su vez, en la medida en que los analistas experimentales de la conducta han diseñado experimentos que intentan explicar conductas de los organismos cada vez más complejas, los investigadores han presentado una tendencia por buscar esquemas conceptuales cognoscitivos de interpretación.

El objetivo del presente documento es revisar tanto teórica como empíricamente, el campo de investigación en cronopsicofisiología, un área de estudio de la psicología cognoscitiva. La cronopsicofisiología tiene sus raíces en la cronometría mental, disciplina que se desarrolla a partir de la medición de la conducta observable. Desde una perspectiva teórica se analizan los principales modelos de procesamiento humano de la información que han intentado explicar los eventos que se suceden entre la adquisición de la información sobre el ambiente y la generación de un patrón de respuestas específicas. Mientras que desde un enfoque metodológico se describen los diseños experimentales que han intentado confirmar tales modelos.

La cronopsicofisiología proporciona la posibilidad de inferir a partir de la medición de respuestas fisiológicas cerebrales, las etapas que se desarrollan durante el procesamiento humano de la información, por lo que representa la oportunidad de estudiar cómo los eventos estímulos son traducidos por el organismo en conductas. Sin embargo, el desarrollo del conocimiento que

brinda esta área de estudio depende en gran medida de la implementación de estrategias experimentales. Por lo que uno de los intereses del presente trabajo es precisamente, realizar un análisis de las variables experimentales que han demostrado a través de experimentos con marcadores fisiológicos, su eficacia para incidir sobre determinadas etapas del tratamiento de la información. Al final de este documento se citan estas variables experimentales con el fin de proporcionar una guía para el desarrollo de nuevos paradigmas de investigación en psicología.

Cronometría Mental

El término cronometría mental fue propuesto por Posner (1978) para referirse al estudio del curso del tiempo durante el procesamiento de la información en el sistema nervioso humano. Esta aproximación en Psicología Cognoscitiva, intenta hacer inferencias sobre los elementos que intervienen en el procesamiento de la información y sobre la relación que guardan estos elementos entre sí.

Los modelos de procesamiento humano de la información que se desarrollaron en el campo de la cronometría mental se derivaron de ingeniosos diseños experimentales aplicados en estudios conductuales en que el tiempo de reacción y la ejecución del sujeto parecen ser las variables dependientes clásicas. Sin embargo, como veremos, no son las únicas. El tiempo de reacción (TR) es sin duda la técnica de medición más comúnmente utilizada, consiste en la medición del tiempo entre el estímulo y la respuesta al estímulo. Posner (1978) cita además del TR, el tiempo de codificación, que es el tiempo necesario entre la presentación de un estímulo informativo (estímulo clave) y la presentación del estímulo imperativo (estímulo prueba) para producir una respuesta óptima. Este método permite separar el proceso de codificación del proceso de ejecución de la respuesta. Otra variable dependiente de interés en los estudios de cronometría mental es el número de respuestas correctas. La exactitud de la ejecución del sujeto puede manipularse por variables como el tiempo de exposición al estímulo o por el uso del enmascaramiento, ambas pretenden restringir el tiempo que el sujeto tiene contacto con el estímulo.

Cronopsicofisiología

El término cronopsicofisiología fue introducido por Van der Molen, Bashore, Halliday y Callaway (1991) para referirse a la inclusión de marcadores de tiempo fisiológicos en los métodos clásicos de TR de la cronometría mental. De acuerdo con van der Molen *et al.* (1991), la cronopsicofisiología permite estudiar factores que pueden incidir sobre las reacciones mentales como son la

preparación o la expectativa del sujeto, factores que no son contemplados en los experimentos conductuales de TR, de allí que sugiere integrar a la psicología en el término cronopsicofisiología.

Entre los marcadores fisiológicos que utiliza la cronopsicofisiología, pueden citarse la tasa cardíaca, la dilatación pupilar y los potenciales evocados (PE). Los dos primeros son respuestas del sistema autónomo que proporcionan información sobre el nivel de activación de los elementos del sistema de procesamiento de la información cuando el sujeto se prepara para la llegada del estímulo (van der Molen *et al.*, 1991). Los PE son marcadores fisiológicos a nivel del sistema nervioso central. Su gran resolución temporal permite observar manifestaciones fisiológicas en el curso mismo del procesamiento de la información. Asimismo, la manipulación de diversas variables experimentales y su efecto sobre los PE, permite inferir los elementos del sistema que son activados y su temporalidad dentro de la reacción mental.

Modelos de Procesamiento Humano de la Información

Si la cronometría mental se interesa por estudiar el tiempo destinado al procesamiento de la información, podemos ubicar sus antecedentes más remotos en el primer estudio sistemático de TR en humanos que fue realizado por Helmholtz en 1850. El estudio consistía en estimular a los sujetos en diversas partes de la piel y en pedirles que respondieran lo más rápidamente posible con un movimiento de la mano o la mandíbula. De esta manera, Helmholtz estimó que la velocidad de conducción del nervio humano es entre 50 y 60 m/seg (Van der Molen *et al.*, 1991 y Meyer, Osman, Irwin y Yantis, 1988). Veamos a continuación la evolución que siguieron los modelos de procesamiento humano de la información en el campo de la cronometría mental.

El Método de Substracción de Donders

En 1869, Donders y su discípulo De Jaeger propusieron un método para medir el tiempo de diferentes funciones mentales. Su método estaba inspirado en los trabajos de Helmholtz sobre TR. Donders partió del supuesto de que la duración de los procesos mentales complejos podría obtenerse si se agregaban tareas más complejas a los experimentos básicos de TR realizados por Helmholtz, por lo que propuso tres condiciones experimentales: 1) reacción A, condición con TR simple en que se requiere una sola respuesta ante un solo estímulo, Donders estimulaba el pie derecho o izquierdo de sus sujetos y les pedía que respondieran con la mano del mismo lado, en esta condición el lado de estimulación era constante; 2) reacción B, condición con TR de elección en que se presentan varios estímulos y cada uno requiere una respuesta distinta,

el lado del cuerpo que Donders estimulaba en sus sujetos variaba de ensayo a ensayo; 3) reacción C, condición sí/no, en que se presentan varios estímulos pero sólo se requiere responder a uno de ellos y con un solo tipo de respuesta (Boring, 1978; Chase, 1984, Van der Molen *et al.*, 1991 y Coles, Smid, Scheffers y Otten, 1995).

Substrayendo el tiempo de ejecución de las diferentes condiciones, Donders estimó el tiempo de diferentes procesos mentales. Substrayendo la condición B de la condición A es posible determinar el tiempo que requerían sus sujetos para decidir qué lado del cuerpo había sido estimulado y responder con una acción. Substrayendo la condición C de la condición A es posible determinar el tiempo de discriminación sensorial puesto que la diferencia entre ambas condiciones es la discriminación entre varios estímulos. Substrayendo la condición B de la condición C es posible determinar el tiempo de elección de la respuesta, ya que en la condición C se requiere discriminar entre estímulos, pero no seleccionar una respuesta. Estimó que el tiempo de discriminación sensorial es de 36 msec, mientras que el tiempo de elección de la respuesta es de 47 msec. (Boring, 1978; Chase, 1984, van der Molen *et al.*, 1991 y Coles *et al.* 1995). En la Tabla 1 se resumen los experimentos de Donders.

Tabla 1. Diferentes condiciones experimentales usadas por Donders y el tiempo de duración de diversos procesos obtenidos con el método de substracción.

Reacción		Latencia	
A	$E \Rightarrow R$	201 msec	Discriminación del estímulo C-A= 36 msec
B	$E_1, E_2, E_3 \dots E_n \Rightarrow R_1, R_2, R_3 \dots R_n$	284 msec	Discriminación del estímulo y elección de respuesta B-A= 83 msec
C	$E_1, E_2, E_3 \dots E_n \Rightarrow R_1$	237 msec	Elección de respuesta B-C= 47 msec

Pronto el método de Donders perdió prestigio puesto que descansaba en supuestos que no podían validarse. Específicamente, el supuesto de la inserción pura y el de procesamiento en serie. La diferencia entre una condición y otra no puede considerarse la inserción pura de una etapa más en el procesamiento de la información, en realidad se inserta una nueva operación mental y las operaciones existentes también se ven afectadas. Además, los componentes del proceso mental no se combinan aditivamente para contribuir al TR de la respuesta final (Coles *et al.* 1995, Chase, 1984, Van der Molen *et al.*, 1991).

Modelo de Adición de Factores de Sternberg

El método de Sternberg (1969) no intenta como el de Donders medir la duración de etapas en el procesamiento de la información, aunque sí establecer la existencia y las propiedades de esas etapas y la relación entre ellas. Sternberg (1969) enfatiza que su método evade el supuesto de inserción pura de Donders, ya que en su método no se añaden o borran etapas. En términos de Chase (1984), la variable independiente es el número de veces que la etapa opera, no si la etapa está o no presente.

Sternberg (1969) parte del supuesto de que las diferencias en la duración de las etapas del procesamiento de la información se relacionan con factores experimentales. Por factor se refiere a una variable manipulable experimentalmente o a dos o más tratamientos llamados niveles. Cuando dos factores influyen en etapas diferentes del procesamiento de la información, su efecto en el TR de la respuesta global será independiente y aditivo. Por ejemplo, si la calidad del estímulo afecta la etapa de codificación del estímulo mientras que la compatibilidad estímulo-respuesta, afecta la etapa de organización y ejecución de la respuesta, entonces ambos factores influyen en el TR global. Por otro lado, si dos factores afectan una misma etapa del procesamiento, su efecto sobre el TR no será aditivo sino interactivo (Figura 1).

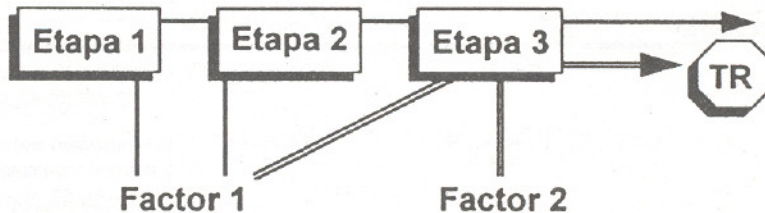


Figura 1. Representación del modelo de adición de factores de Sternberg.

El método de Sternberg descansa en varios supuestos: influencia selectiva, salida constante, transmisión discreta y ordenamiento serial. Coles *et al.* (1995) puntualizan que tales supuestos pueden no siempre ser validados.

La manipulación de un factor puede implicar más que el cambio en la duración de una etapa o incluso, afectar el funcionamiento de otras etapas y la calidad del producto de las etapas. Asimismo, el supuesto de que cada etapa es activada en serie y que dos etapas no pueden activarse simultáneamente, descarta la posibilidad de que el procesamiento humano pueda realizarse por dos sistemas paralelamente.

Modelo Cognoscitivo-Energético del Procesamiento Humano de la Información de Sanders

El método de adición de factores ha inspirado el desarrollo de otros modelos que incluyen aspectos no contemplados por el método original de Sternberg, tal es el caso del modelo de Sanders (1983). La idea central de este modelo es que la duración del procesamiento de una etapa depende no sólo de variables experimentales sino también del estado del individuo. Sanders (1983) distingue cuatro etapas del procesamiento de la información que se ven afectadas por demandas experimentales y que son analizables de acuerdo con el modelo de adición de factores (Figura 2). El modelo intenta determinar el efecto de las variables de estado, como son las instrucciones del experimentador o la motivación del sujeto, sobre los recursos energéticos (alerta, activación y esfuerzo) que se requieren para el desarrollo de las etapas del procesamiento. El modelo de Sanders (1983) incluye además, un mecanismo de evaluación que se encarga de valorar el funcionamiento cognoscitivo de las etapas del procesamiento de la información y el estado de alerta y activación. En caso de imbalance promueve una acción inmediata de esfuerzo.

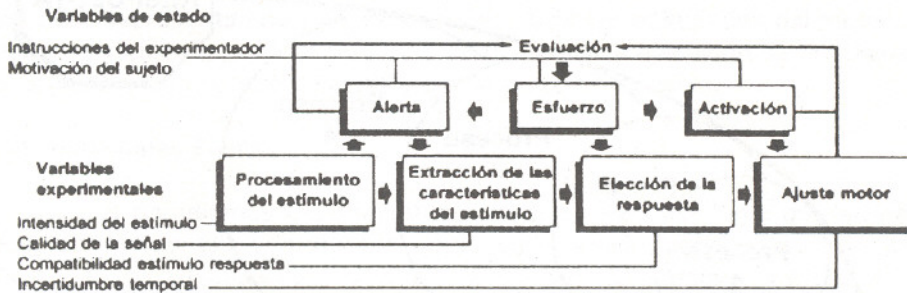


Figura 2. Representación del modelo cognoscitivo-energético del procesamiento humano de la información de Sanders.

Sanders (1983) propone como evidencia experimental para distinguir entre efectos de variables experimentales y efectos de variables de estado sobre el TR, el hecho de que las variables experimentales afectan todos los ensayos individuales y por lo tanto la distribución global del TR. En cambio las variables de estado, afectan cada ensayo de manera diferente por lo que su efecto será más evidente en los extremos de la distribución del TR. Otra evidencia es el hecho de que las variables de estado se ven fuertemente afectadas por aspectos motivacionales como el tiempo ejecutando la tarea, el

conocimiento de los resultados o la presión temporal.

Modelo de Cascada de McClelland

Como una alternativa al método de Sternberg que descansa en el supuesto de etapas de procesamiento en serie, surge el modelo de Cascada que sugiere la activación simultánea de varios niveles de procesamiento. McClelland (1979) propone que todas las etapas en el procesamiento de la información continuamente proporcionan sus resultados a las etapas subsecuentes hasta que la información llega a la etapa de ejecución de la respuesta (Figura 3). Cada etapa crece asimilando información a través del tiempo hasta alcanzar la asíntota y continuamente cada etapa transmite información a la siguiente, en la secuencia del procesamiento. La única etapa en que la información es transmitida en forma discreta de acuerdo con este modelo, es en la etapa de ejecución de la respuesta, la duración de ésta debe añadirse a la secuencia del procesamiento.

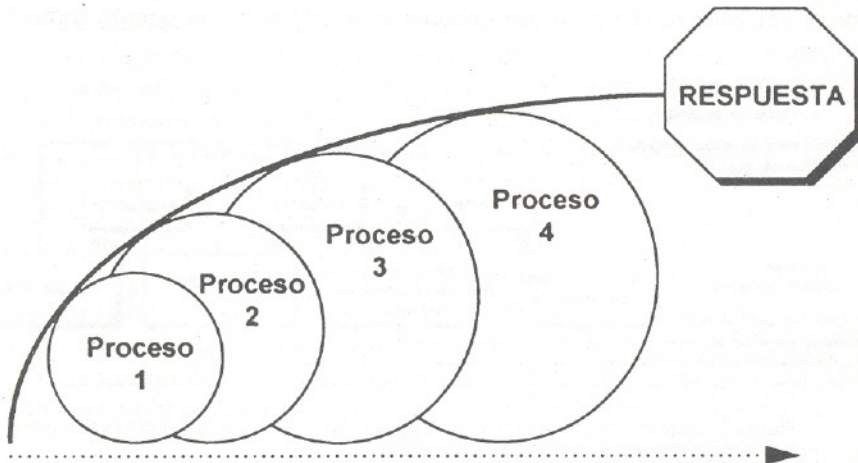


Figura 3. Representación del modelo de cascada de McClelland.

McClelland fundamenta su modelo a partir de estudios simulados y del reanálisis de estudios de adición de factores y de la relación velocidad/exactitud. Típicamente, en un experimento de velocidad/exactitud se observa que la curva que representa esta relación, muestra en su parte inicial que la exactitud permanece en un nivel de respuesta al azar; posteriormente, crece rápidamente sobre un corto período de tiempo y finalmente, permanece en el mismo nivel durante la última porción de la curva. Esta misma curva fue

interpretada por McClelland desde el contexto de su modelo de cascada. Es decir, en términos del flujo continuo de información hasta llegar al nivel de la asíntota en la asimilación de la información (van der Molen *et al.*, 1991).

El modelo de McClelland descansa en el supuesto de que la transmisión del resultado de cada etapa es continua y en una sola dirección, sin la capacidad de excluir una determinada etapa. Además, debido a que la información de cada etapa se transmite continuamente conforme se acumula la información del estímulo, la probabilidad de realizar una respuesta correcta también crece concurrentemente. El modelo de McClelland no proporciona información sobre el número de etapas que intervienen en el procesamiento de la información o de su ordenamiento temporal, ni de las variables experimentales que pudieran influir en su duración.

Modelo de Flujo Continuo de Eriksen

A partir de su extensa investigación en experimentos visuales, Eriksen y Schultz (1979) proponen este modelo de transmisión continua de la información y procesamiento paralelo. El modelo se basa en la noción de que la información en el sistema visual se acumula gradualmente a través del tiempo, y tan pronto existe información acumulada se activan respuestas parciales. De acuerdo con su modelo existen varios procesos que simultáneamente se encargan de transferir los eventos de la estimulación a la activación de la respuesta. El resultado de cada proceso se vuelve cada vez más detallado y exacto a través del tiempo conforme la energía es acumulada en el órgano sensorial visual. Sin embargo, en un principio los procesos generan un amplio rango de posibles respuestas y conforme la información se acumula, la activación de respuestas se centra en alternativas de respuesta cada vez más viables (Figura 4). El hecho de que inmediatamente después de la estimulación se activen varias respuestas, genera competencia entre las mismas, y la velocidad con que una respuesta es ejecutada depende del grado de competencia. Entre mayor es la competencia, mayor será la latencia de la respuesta correcta (Coles *et al.* 1985).

Eriksen basó su modelo en una serie de experimentos realizados con un paradigma experimental que provocaba confusión espacial en sus sujetos. Aún cuando los sujetos conocían la localización del estímulo blanco, tendían a procesar estímulos no blancos que se encontraban cerca del estímulo blanco.

El modelo de flujo continuo descansa en dos supuestos básicos que han sido cuidadosamente analizados por van der Molen *et al.* (1991). El primero, considera que en el sistema visual existe una acumulación gradual de la información. De acuerdo con van der Molen *et al.* (1991), este supuesto no explica los hallazgos recientes en experimentos psicofísicos y de

neurotransmisión en unidades celulares simples; estos estudios sugieren que las etapas tempranas del procesamiento de la información del estímulo visual ocurren en forma secuencial y discreta. El segundo supuesto, radica en que la acumulación gradual de la información es continuamente transmitida al sistema motor donde las respuestas son activadas y compiten entre sí. Es decir, el sistema de respuestas depende directamente de esta etapa previa de acumulación de la información. Este supuesto no explica el hecho de que la manipulación de diferentes factores experimentales parece afectar únicamente la etapa de organización y ejecución de la respuesta y no las etapas previas.

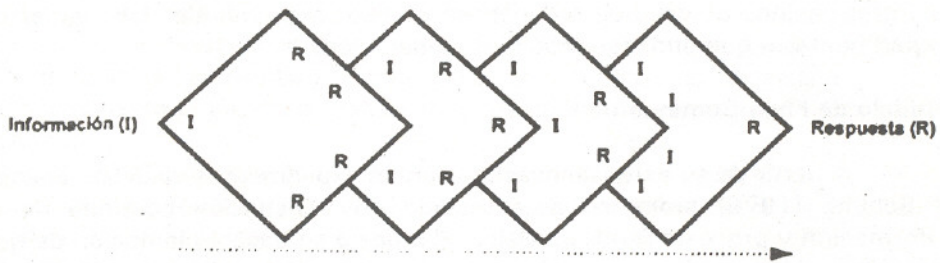


Figura 4. Representación del modelo de flujo continuo de Eriksen.

Cronopsicofisiología y Potenciales Evocados

El potencial evocado constituye una variable dependiente de gran interés en la cronopsicofisiología, su atractivo radica en la exactitud temporal con que puede ser medido (en milisegundos) y por lo tanto, relacionado con tiempos en la manipulación de la presentación del estímulo y el TR de la respuesta al estímulo. Además, es registrado en el momento mismo en que ocurre el procesamiento de la información.

Los potenciales evocados (PE) reflejan cambios en la actividad electrofisiológica del sistema nervioso en respuesta a un estímulo o en asociación a una respuesta motora. Consisten en cambios de voltaje en forma de picos y valles que representan cambios positivos y negativos en la polaridad electrofisiológica. La amplitud de los potenciales evocados es menor a la amplitud de la actividad eléctrica habitual del cerebro en donde los PE se encuentran inmersos, por lo que deben ser extraídos de la actividad de fondo del electroencefalograma (EEG) a través del promedio de varios registros concomitantes a la presentación de un estímulo. Esto produce que la actividad del EEG no asociada al estímulo y que varía aleatoriamente, tienda a valores de cero, mientras que el PE tiende a sobresalir del ruido de fondo. La investigación en cronopsicofisiología con PE se ha centrado en el estudio de sólo algunos

componentes de los PE, debido a que éstos han mostrado ser más sensibles a los paradigmas experimentales en esta área. Por consiguiente, únicamente me limitaré a la descripción de estos PE.

P300

Es un potencial evocado positivo registrado en posiciones parietales entre los 300 y 800 msec y entre 5 y 20 μ v. de amplitud. Fue descubierto por Sutton *et al.* (1965) en una tarea en que se presentaba un estímulo clave asociado a un segundo estímulo, un "flash" o un "click". En una condición el estímulo clave indicaba si era el "flash" o el "click" el estímulo que aparecería; en otra, el estímulo clave podría ser seguido por el "flash" o el "click". La condición de incertidumbre generó el componente P300. La extensa investigación con este componente ha probado que la amplitud del P300 es afectada por la probabilidad subjetiva del estímulo elicitor y por la relevancia o utilidad del estímulo en la tarea. La latencia del P300 parece ser un indicador del tiempo de categorización del estímulo o de evaluación del estímulo.

Potencial de Preparación Lateralizado (PPL)

En 1965, el mismo año en que Sutton descubría el componente P300, Kornhuber y Deeke en Alemania reportaron la observación de un potencial negativo lento entre 1000 y 1500 msec antes de la ejecución de un movimiento espontáneo al que llamaron potencial para la preparación (PP). El potencial es mayor en regiones centrales y contralateral al lado del cuerpo que ejecutará el movimiento (Coles, 1989; van der Molen *et al.* 1991 y Coles *et al.*, 1995). Coles (1989) dedujo que no toda la actividad hemisférica asimétrica podría deberse a la función motora, debe haber otras funciones también inmersas, por lo que propuso un método para aislar la actividad asimétrica del cerebro que pueda ser atribuida únicamente al movimiento.

El método para obtener el Potencial de Preparación Lateralizado (Coles, 1989), consiste en substraer los potenciales registrados sobre el lado izquierdo y derecho del cuero cabelludo. La substracción se realiza en forma separada para los movimientos de la mano izquierda y derecha. En cada caso, el potencial ipsilateral a la mano que responde se substraee del potencial contralateral a la mano que responde. Posteriormente, la diferencia de potencial de los movimientos de la mano derecha e izquierda se promedian, de esta forma se obtiene una medida del promedio de la actividad lateralizada de los sujetos cuando se preparan para el movimiento que Coles (1989) denominó Potencial de Preparación Lateralizado. El procedimiento asegura que la actividad

lateralizada no relacionada al movimiento, al promediarse, tiende a valores de cero.

El PPL es sensible a la manipulación de la validez del estímulo de advertencia que afecta la preparación motora y está asociado a la elección de la respuesta motora, por lo que puede ser un indicador del momento en que la respuesta motora es seleccionada. Asimismo, cuando el PPL alcanza cierta amplitud o nivel de umbral, se encuentra asociado a la generación del movimiento (Coles *et al.*, 1995).

Paradigmas Experimentales en Cronopsicofisiología

En el campo de investigación de la cronopsicofisiología como en el de la cronometría mental, muchas de las preguntas de investigación giran alrededor de la resolución de dos grandes dicotomías planteadas en los modelos que intentan dar una explicación del procesamiento humano de la información. Una dicotomía es el procesamiento serial vs paralelo de la información y otra, la transmisión discreta vs continua de la información. Donders, Sternberg y Sanders son representativos de los modelos de procesamiento serial y de transmisión discreta de la información. Mientras que McClelland y Eriksen son representativos de modelos de procesamiento paralelo y de transmisión continua de la información. En la siguiente sección de esta exposición se describen los experimentos clásicos con potenciales evocados basados en cada uno de estos modelos de procesamiento de la información y que han intentado, por lo tanto, esclarecer las dicotomías arriba planteadas.

Paradigma Compatibilidad Espacial Estímulo/ Respuesta

El primer antecedente de este tipo de experimentos puede remontarse a los estudios que intentaban estimar el tiempo de transmisión de la información de un hemisferio cerebral al otro (Bashore, 1990). Estos estudios se basaron en el conocimiento de que el sistema sensorial recibe primero el estímulo en el hemisferio contralateral al lado del cuerpo estimulado, y el sistema motor origina la respuesta en el hemisferio contralateral al miembro que ejecuta el movimiento. Asimismo, en el supuesto de que la presentación de un estímulo simple y la ejecución de una respuesta simple, con mínimas demandas cognoscitivas, es un proceso que debe estar mediado por rutas neuroanatómicas fijas y aisladas. Este supuesto admite análisis basados en el método de substracción de Donders (Bashore, 1990). El experimento clásico consiste en presentar un estímulo de advertencia seguido de un intervalo variable que intenta evitar que el sujeto anticipe su respuesta. Después de este intervalo se presenta el estímulo prueba aleatoriamente en uno de los

hemicampos visuales y el sujeto debe responder con el dedo de una mano.

Los resultados de estos estudios muestran que las respuestas más rápidas se producen con la mano ipsilateral al hemicampo visual estimulado. Aparentemente, la ventaja de la respuesta ipsilateral se debe a que se trata de un proceso intrahemisférico. La mano contralateral presenta una latencia de respuesta mayor de entre 1 y 6 mseg, dato que indica el tiempo de transmisión interhemisférica conductual (Bashore, 1990). En un paradigma de incompatibilidad espacial se requiere que el sujeto responda con la mano colocada en el lado contralateral (cruzando la línea media del cuerpo) al hemicampo donde recibió la estimulación; con este nuevo arreglo, la velocidad es igual que cuando el sujeto responde con la mano colocada en el mismo lugar del estímulo. Estos hallazgos sugieren que la ruta anatómica de una reacción simple no se ve afectada por variables cognoscitivas como la incompatibilidad espacial que requieren de un procesamiento en áreas más centrales (Bashore, 1990).

Los estudios en cronopsicofisiología se plantearon investigar con registro de potenciales evocados como marcadores fisiológicos, en qué momento del procesamiento de la información tiene su efecto la incompatibilidad espacial. Ragot (1990) describe varios de sus estudios en que a través del color del estímulo indicaba a sus sujetos de qué lado responder, la situación incompatible ocurre cuando el estímulo se localiza en el lado opuesto al lado en que debe responder. Sus estudios mostraron un incremento en el TR de 30 mseg y un incremento en la latencia del componente P300 de 20 mseg. El efecto de la incompatibilidad espacial sobre el componente P300 sugiere la presencia de procesos centrales. Sin embargo, los resultados con este paradigma no son consistentes, por lo que aún no pueden derivarse conclusiones. Por ejemplo, Smulders (1993, citado por Coles *et al.*, 1995) no obtuvo efectos sobre la latencia del P300 cuando los sujetos respondían a una tarea de incompatibilidad entre la posición del estímulo y el lado del cuerpo que debía responder.

Paradigma de Reconocimiento de ítem de Sternberg

El paradigma que Sternberg desarrolló para estudiar su modelo de adición de factores consiste en presentar una serie de dígitos, seguido de la presentación de un estímulo de advertencia y finalmente de la exposición de un dígito como estímulo prueba. La tarea del sujeto consiste en determinar si el dígito prueba se encontraba o no en la serie de dígitos presentados inicialmente. Los resultados de Sternberg (1966) mostraron que el TR se incrementa conforme aumenta el número de dígitos en la serie, y que la regresión lineal entre el TR y el tamaño de la serie es igual para estímulos blanco como para

estímulos no blanco. El proceso de búsqueda serial es de aproximadamente 38 mseg por cada dígito comparado.

En cronopsicofisiología, el paradigma de Sternberg también conocido como paradigma de memoria de búsqueda o de memoria a corto plazo, ha sido varias veces aplicado. El interés ha versado en estudiar si la latencia del componente P300 se modifica en función del número de dígitos en la serie, como sucede con el TR, debido a que existe evidencia de que este PE (Kutas, MaCarthy y Donchin, 1977) podría estar asociado a la etapa de codificación o evaluación del estímulo. Sternberg (1966) consideró que en su paradigma se involucran cuatro etapas (codificación del estímulo, memoria de búsqueda, etapa de decisión binaria y selección de la respuesta), y que el factor tamaño de la serie afecta la etapa de memoria de búsqueda.

Los estudios con PE han confirmado la relación entre el tamaño de la serie de dígitos y el TR (Pratt, Michalewski, Barrettm y Starr, 1989; Ford, Roth, Mohs, Hopkins y Kopell, 1979 y Adam y Collins, 1978). Sin embargo, la relación entre el número de dígitos y la latencia del componente P300 es menos intensa. Mientras que Ford *et al.* (1979) encontraron que la latencia del componente P300 incrementa 27 mseg por dígito, Adam y Collins (1978) reportaron un incremento de 22 mseg. Por comparación, el incremento en el TR es de 38 mseg por dígito. El diferente efecto que la variable número de dígitos tiene sobre la latencia del P300 y el TR pone en duda los postulados de Sternberg, ya que como razonan Coles *et al.* (1995), si el tamaño de la serie se supone afecta sólo la etapa de memoria de búsqueda o etapa de comparación, mientras que la etapa de decisión y selección de respuesta no se ve afectada, entonces, por qué la latencia del P300 y el TR no están fuertemente relacionadas.

Ford *et al.* (1979) interpretaron esta discrepancia sugiriendo que el número de dígitos no afecta sólo la etapa de memoria de búsqueda, sino también una o más etapas subsecuentes que tienen más incidencia sobre la ejecución de la repuesta. Coles *et al.* (1995) proponen como una posible interpretación, que la calidad de la información transmitida de la etapa de memoria de búsqueda a la etapa de selección de la respuesta se redujo conforme se incrementaba el número de dígitos, por lo que la duración del TR aumentó proporcionalmente. Ninguna de estas interpretaciones están dentro de la línea propuesta originalmente por Sternberg. Sin embargo, una consideración que permitiría salvar el modelo de Sternberg es la propuesta de Meyer *et al.* (1988), quienes sugieren que no existe razón para suponer que la latencia de un potencial evocado se encuentra estrechamente relacionada con la terminación de una etapa del procesamiento. Por lo que no es necesario asumir que la etapa de memoria de búsqueda ha sido terminada cuando el potencial P300 alcanza su latencia pico.

Paradigma Stroop

Este paradigma, también conocido como paradigma conflictivo, lleva el nombre de su autor, Stroop, quien lo descubrió en 1935 (Coles *et al.* 1995). La tarea consiste en que el sujeto debe responder sobre la base de un atributo del estímulo e ignorar otro atributo que es conflictivo. Por ejemplo, responder al atributo color rojo del estímulo cuando el estímulo es la palabra azul escrita en tinta roja. En los estudios de cronometría mental, el TR es mayor cuando el color de la palabra y la identidad de la palabra son incompatibles. La pregunta de investigación de mayor interés alrededor del paradigma Stroop es determinar qué etapa del procesamiento de la información se ve afectada por la variable conflictiva. Esta pregunta se encuentra dentro del orden de ideas desarrolladas por el modelo de Sternberg. Sin embargo, estudios basados en este mismo paradigma han permitido corroborar postulados de otros modelos no seriales, como el modelo en cascada de McClelland.

Duncan-Johnson y Kopell (1981) determinaron, con ayuda de los potenciales evocados, la etapa afectada por el conflicto en el paradigma Stroop. La incongruencia entre el color y la identidad de la palabra no afectó la latencia del componente P300 y sí la duración del TR. Estos resultados llevaron a Duncan-Johnson y Kopell (1981) a concluir que el conflicto Stroop afectaba etapas que seguían a la etapa de evaluación del estímulo, ya que parten del supuesto de que la latencia del P300 refleja la etapa de evaluación o codificación del estímulo.

A partir de una variante del paradigma Stroop, en que la tarea del sujeto consistía en juzgar si un dígito era par o impar o si era mayor o menor, Otten y sus colaboradores (citado por Coles *et al.*, 1995) observaron que cuando los sujetos tenían que determinar si se trataba de un dígito par o impar, la magnitud del dígito interfería con sus juicios. Aparentemente, la respuesta que es codificada a partir de la magnitud del dígito es activada y este proceso interfiere con la activación de la respuesta correcta que debe basarse en la codificación de si se trata de un dígito par o impar. El estudio permitió observar a partir del potencial para la preparación lateralizado (PPL), que efectivamente en los ensayos conflictivos, la respuesta incorrecta era activada antes que la respuesta correcta. Los resultados mostraron la utilidad del PPL para detectar que se había dado un proceso de evaluación parcial y temporal del estímulo y que ese análisis parcial había afectado la etapa de organización de la respuesta. Estos hallazgos son sin duda consistentes con un modelo de transmisión de la información en forma continua como el sugerido por McClelland (1979).

Paradigma Eriksen

Eriksen y Eriksen (1974) introdujeron este paradigma también conocido como ruido/compatibilidad. En el experimento original, la tarea del sujeto consistía en mover una palanca con la mano derecha hacia la derecha o hacia la izquierda en respuesta a la presentación de una letra estímulo blanco que indicaba la dirección del movimiento. Usaron cuatro letras como estímulos blanco (H,K,S,C), dos de ellas indicaban el movimiento en una dirección y las otras dos en la dirección opuesta. En algunos ensayos presentaban la letra estímulo blanco aislada y en otros, la presentaban junto con tres letras a cada lado que podían ser iguales o diferentes al estímulo blanco. En el primer caso se trata de un estímulo compatible (ej. HHHHHHH); mientras que en el segundo, de un estímulo con ruido (ej. SSSHSSS). Los sujetos no necesitaban buscar espacialmente el estímulo blanco ya que siempre se encontraba en la misma posición.

El TR es mayor en los ensayos con ruido que en los ensayos compatibles. Eriksen y Eriksen (1974) interpretaron estos hallazgos sugiriendo que en los ensayos con ruido se activan tanto la respuesta correcta como la incorrecta y debido a que las respuestas compiten entre sí, la respuesta correcta se inhibe y retrasa. A pesar de que para Eriksen y Schultz (1979) el efecto ruido/compatibilidad es principalmente al nivel de la respuesta motora, los investigadores en cronopsicofisiología aún se cuestionan si la letra estímulo blanco es menos discernible cuando hay distractores (efecto a nivel de la etapa de evaluación del estímulo) o si los distractores provocan la activación de la respuesta incorrecta (efecto a nivel de la organización de la respuesta).

Coles *et al.* (1985) abordaron esta pregunta a través de un ingenioso experimento en que utilizaron una variante del paradigma Eriksen. Los sujetos tenían que responder apretando un dinamómetro con la mano derecha si se presentaba una determinada letra estímulo blanco, y apretar con la mano izquierda otro dinamómetro ante la presencia de otra letra estímulo blanco. Las letras estímulo blanco (SH) se presentaban en algunos ensayos junto con letras no blanco iguales (ej. HHHHH) y en otros, junto con letras no blanco diferentes (ej. SSHSS). Asimismo, en algunos ensayos se presentaba un tono como estímulo de advertencia. Se les pidió a los sujetos que respondieran rápidamente para provocar el comienzo de más respuestas erróneas que fueran detectadas y corregidas. El umbral del dinamómetro se estableció a un 25% de la magnitud total de fuerza medible por el dinamómetro. El sujeto podía detectar y detener una respuesta incorrecta, siempre y cuando fuera antes de alcanzar este umbral. También se hicieron registros electromiográficos (EMG) y del componente P300.

Coles *et al.* (1985) observaron que los estímulos con ruido se asocian

a una mayor latencia del P300. Sin embargo, este retraso es la mitad del retraso observado en el TR. La diferencia en retraso fue interpretada por Coles *et al.* (1985) como evidencia de que en los ensayos con ruido se activa la respuesta incorrecta y que ésta compite con la respuesta correcta produciendo su retraso. Sus datos apoyan plenamente esta interpretación ya que efectivamente, cuando se registra actividad en el dinamómetro incorrecto, la iniciación de la actividad en el dinamómetro correcto se retrasa. Asimismo, encontraron que cuando se activa una respuesta en el dinamómetro incorrecto, se incrementa el intervalo entre el comienzo de la respuesta EMG correcta y el comienzo de la respuesta sobre el dinamómetro correcto. Estudios que han utilizado otras medidas fisiológicas como el PPL, también han observado una activación de la respuesta incorrecta ante estímulos con ruido (Gratton, Coles, Sirevaag y Eriksen, 1988).

El efecto ruido/compatibilidad no es exclusivo de la etapa de organización y ejecución de la respuesta como sugirieron Eriksen y Schultz (1979), sino también influye en la etapa de evaluación del estímulo como lo demuestra el incremento de la latencia del P300 en los ensayos con ruido. Smid, Mulden y Mulden (1990) también obtuvieron estos resultados. Los hallazgos son consistentes con el modelo de flujo continuo de Eriksen. Además, el descubrimiento de que la respuesta pueda iniciarse sin ser necesariamente ejecutada representa una evidencia en contra de los postulados del modelo de cascada propuesto por McClelland (1979), en que la ejecución de la respuesta se considera un proceso discreto y por lo tanto irreversible.

Consideraciones Finales

Los paradigmas experimentales en cronopsicofisiología que arriba se describen no constituyen una lista exhaustiva, a ella habría que añadir, entre otros, el paradigma de información parcial de Miller (1982), el de incompatibilidad semántica y los estudios que manipulan la dificultad en la tarea. Las investigaciones que manejan diferentes niveles de complejidad en la tarea y observan el incremento en la latencia de los potenciales evocados y el tiempo de reacción en función del incremento de la dificultad entre las condiciones, son ejemplos de la aplicación del método de substracción en el campo de la cronopsicofisiología. Método que se abandonó en cronometría mental porque arrojaba resultados muy variables.

Los modelos de procesamiento humano de la información, como se mencionó anteriormente, pueden clasificarse en seriales y de transmisión discreta de la información y en paralelos o de transmisión continua de la información. La ventaja de los modelos seriales es sin duda, su intento de describir varias etapas en el curso del procesamiento de la información entre la

presentación del estímulo y la ejecución de la respuesta. Así como, el interés en proponer manipulaciones experimentales específicas que incidan sobre estas etapas del procesamiento de la información. Sin embargo, el supuesto central de estos modelos, de que la información es procesada en cada etapa en forma serial, es difícil de sostener ante la evidencia empírica que han arrojado los modelos que proponen el tratamiento paralelo de la información. Por otro lado, los modelos que proponen un procesamiento paralelo de la información, carecen de una descripción exhaustiva de las etapas que intervienen en el tratamiento de la información. La mayoría enfatizan los dos extremos del proceso, la etapa de codificación o evaluación del estímulo y la etapa de organización y ejecución de la respuesta. Incluso, las manipulaciones experimentales destinadas a probar estos modelos se centran especialmente, sobre los efectos en estas dos etapas del procesamiento de la información.

Al interior de cada uno de los modelos revisados es posible encontrar evidencia empírica en favor y en contra. Es decir, ninguno de estos modelos ha podido mostrar su supremacía sobre los otros. Sin embargo, cada uno de ellos ha demostrado cierta validez a partir de datos experimentales. Las variaciones encontradas en los estudios que intentan sustentar uno u otro modelo en muchos casos, pueden explicarse a partir del arreglo de los paradigmas experimentales. Así por ejemplo, mientras que el paradigma Stroop muestra el procesamiento en paralelo de dos atributos del estímulo (Otten *et al.*, citado por Coles, 1995), confirmando el modelo de McClelland (1979); el paradigma Eriksen (Coles *et al.*, 1985) muestra que las respuestas pueden ser reversibles y que no son por lo tanto eventos discretos, como proclama el modelo de McClelland (1979).

Estas variaciones parecen ser indicadores de que el procesamiento humano de la información no sigue siempre la misma estrategia, sino que de acuerdo con los requerimientos de la tarea selecciona las maniobras más efectivas; esto implica que el procesamiento de la información, no puede ser explicado por un modelo específico si éste no permite explicar las adaptaciones o cambios que deben aplicarse de acuerdo con las exigencias de la tarea. Entre los modelos arriba revisados, ninguno incluye esta posibilidad. El modelo de Sanders (1983) podría ser una buena opción, debido a que incluye niveles de análisis del desempeño del sistema que permiten ajustes si las exigencias de la tarea van más allá del esfuerzo previamente destinado para resolver la tarea. Además, propone variables experimentales que permiten manipular el desempeño global del sujeto y no sólo el desempeño del procesamiento de la información en un ensayo específico. Sin embargo, aún no existe suficiente evidencia empírica que demuestre la efectividad de este modelo.

Un modelo ideal del procesamiento humano de la información pretendería explicar el fenómeno en las condiciones más variadas posibles. Sin

embargo, debido a la complejidad del procesamiento de la información, para alcanzar este objetivo, se requiere aún mayor trabajo experimental. Otra alternativa es aceptar que los modelos son explicativos del procesamiento humano de la información bajo ciertas condiciones específicas. Alternativa que es consecuente con la complejidad del procesamiento humano de la información.

Los modelos actuales y los paradigmas experimentales en el área constituyen un cuerpo de información extremadamente valioso para seguir profundizando y explorando nuevas alternativas en el campo del procesamiento humano de la información. Una de las riquezas radica en la experiencia con diversas variables experimentales. En la Tabla 2 resumo las variables experimentales propuestas por los diversos modelos y las etapas en que éstas, teórica o empíricamente, han mostrado tener un efecto. Esta Tabla se propone como una posible guía para el desarrollo de investigaciones futuras.

La cronopsicofisiología al incluir marcadores fisiológicos en el estudio de los procesos mentales, ha proporcionado un gran avance al campo de la cronometría mental. Las investigaciones han permitido en algunos casos transformar hallazgos que parecían sólidamente edificados en los estudios de cronometría mental y en otros, los han puesto en tela de juicio, lo que también constituye un gran avance.

A partir del análisis de los estudios arriba descritos es posible citar que entre los descubrimientos más significativos en el área de la cronopsicofisiología se encuentran: a) la incompatibilidad espacial parece afectar no sólo la etapa de organización de la respuesta sino también la etapa de evaluación del estímulo; b) el incremento del número de elementos a memorizar parece afectar también etapas del procesamiento de la información subsecuentes a la etapa de comparación o de memoria de búsqueda; c) el conflicto ocasionado por la interpretación de un atributo incompatible con el estímulo, parece afectar etapas posteriores a la evaluación del estímulo; d) la interferencia espacial de un estímulo no relevante para la ejecución de la tarea, parece afectar no sólo la etapa de ejecución de la respuesta, sino también la etapa de evaluación del estímulo; e) es posible preparar una respuesta sin que sea realmente ejecutada; f) una vez inicializada la respuesta, ésta puede ser reversible por lo que constituye un evento no discreto; g) es posible preparar una respuesta con información parcial del estímulo.

La cronopsicofisiología apenas ha arrojado sus primeros frutos, las posibilidades de que esta área de investigación en psicofisiología cognoscitiva, proporcione más conocimiento sobre el procesamiento humano de la información son eminentes, sobre todo a medida que a través de la exploración empírica, descubrimos más el significado de marcadores fisiológicos como los potenciales evocados.

Tabla 2. Principales variables experimentales y las etapas que afectan en el procesamiento de la información.

VARIABLES EXPERIMENTALES	ETAPAS EN EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN
Intensidad del estímulo	Preprocesamiento del estímulo
Calidad del estímulo	Evaluación del estímulo
Rotación del estímulo	Identificación
Modalidad del estímulo	Transmisión del estímulo
Número de estímulos en una serie	Comparación serial
Respuesta correcta o incorrecta	Decisión binaria
Número de alternativas Interferencia espacial Incompatibilidad estímulo- respuesta Expectativa	Evaluación del estímulo Organización de la respuesta
Frecuencia de un tipo de respuesta	Organización de la respuesta
Velocidad de la respuesta	Programación motora
Periodo de preparación Incertidumbre temporal	Ajuste motor
Retroalimentación Tiempo en la tarea	Ajuste en la inversión de esfuerzo
Práctica	Todas las etapas

REFERENCIAS

- Adam, N. y Collins, G. I. (1978). Late components of the visual evoked potential to search in short-term memory. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 44, 147-156.
- Bashore, T. R. (1990). Stimulus-response compatibility viewed from a cognitive psychophysiological perspective. En R. W. Proctor y T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-Response Compatibility: An Integrated Perspective*. North Holland: Elsevier Science Publishing B. V., pp.18-223.
- Boring, E. G. (1978). *Historia de la Psicología Experimental*. México: Ed. Trillas.
- Chase, W. (1984). The timing of mental acts. En E. Donchin (Ed.), *Cognitive*

Psychophysiology: Event-Related Potentials and the Study of Cognition. Vol. 1. The Carmel Conferences. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers., pp. 221-248.

- Coles, M. G. H. (1989). Modern mind-brain reading: Psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology*, 26 (3), 251-269.
- Coles, M. G. H., Gratton, G., Bashore, T. R., Eriksen, C. W. y Donchin, E. (1985). A Psychophysiological Investigation of the Continuous Flow Model of Human Information Processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11 (5), 529-553.
- Coles, M. G. H., Smid, H. G. O. M., Scheffers, M. K. y Otten, L. J. (1995). Mental chronometry and the study of human information processing. En M. D. Rugg y G. H. Coles (Eds.). *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition*. New York: Oxford University Press, Inc., pp. 86-131.
- Duncan-Johnson, C. C. y Kopell, B. S. (1981). The Stroop effect: brain potentials localize the source of interference. *Science*, 214, 938-940.
- Eriksen, B. A. y Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, 16, 14-149.
- Eriksen, C. W. y Schultz, D. W. (1979). Information processing in visual search: A continuous flow conception and experimental results. *Perception and Psychophysics*, 25, 249-263.
- Ford, J. R., Roth, W. T., Mohs, R. C., Hopkins, W. F., III, y Kopell, B. S. (1979). Event-related potentials recorded from young and old adults during a memory retrieval task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 47, 450-459.
- Gratton, G., Coles, M. G., Sirevaag, E. J. y Eriksen, C. W. (1988). Pre- and poststimulus activation of response channels: A psychophysiological analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 331-344.
- Kutas, M., McCarthy, G. y Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, 197, 792-795.
- McClelland J. L. (1979). On the time relations of mental processes: An examination of systems of processes in cascade. *Psychological Review*, 86, 287-330.
- Meyer, D. E., Osman, A. M., Irwin, D. E. y Yantis, S. (1988). Modern mental chronometry. *Biological Psychology*, 26, 3-67.
- Miller, J. (1982). Discrete versus continuous stage models of human information processing: In search of partial output. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8 (2), 273-296.
- Posner, M. I. (1978). *Chronometric Exploration of Mind*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Pratt, H., Michalewski, H. J., Barrett G. y Starr, A. (1989). Brain potentials in a memory-scanning task. I. Modality and task effects on potentials to the probes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 72, 407-421.
- Ragot, R. (1990). Cerebral evoked potentials: Early indexes of compatibility effects. En R. W. Proctor y T. G. Reeve (Eds.). *Stimulus-Response Compatibility: An Integrated Perspective*. North Holland: Elsevier Science Publishing B. V.,

pp.225-239.

- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 5, 61-97.
- Smid, H. G. O. M., Mulder, G., y Mulder, L. J. M. (1990). Selective response activation can begin before stimulus recognition is complete: A psychophysiological and error analysis continuous flow. *Acta Psychologica*, 74, 169-201.
- Sternberg, S. (1966). High speed scanning in human memory. *Science*, 15, 652-654.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donder's method. En W.G. Koster (Ed.). *Attention and Performance II*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, pp. 276-315.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., y John, E. R. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- Van der Molen, M. W., Bashore, T. R., Halliday, R. y Callaway, E. (1991). Chronopsychophysiology: Mental chronometry augmented by psychophysiological time markers. En J. R. Jennings y M. G. H. Coles (Eds.). *Handbook of Cognitive Psychophysiology: Central and Autonomic Nervous System Approaches*. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, pp. 9-137.