

SOFTWARE, INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA

Tiempo de reacción: del cronoscopio a la teoría de ondas

Alejandro Maiche Marini, Jordi Fauquet Ars, Santiago Estaún Ferrer y Claude Bonnet*
Universidad Autónoma de Barcelona y * Université Louis Pasteur

En este trabajo se presenta un procedimiento para el análisis de los datos de tiempo de reacción. El procedimiento se deriva del modelo funcional propuesto por Bonnet y cols (Bonnet y Link, 1998; Bonnet y Dresp, 2001) que a su vez fue desarrollado a partir de las ideas de la Teoría de Ondas para la diferencia y la similitud propuesta por Link (1992). El propósito de dicho procedimiento es separar los componentes sensoriales de los decisionales en una respuesta conductual. A partir de los datos obtenidos en un experimento en donde se midió el tiempo de reacción al inicio del movimiento, se muestra la utilidad del procedimiento y se discuten las implicancias teóricas y las posibles aplicaciones que se derivan de la capacidad de discriminar los componentes sensoriales de los decisionales en las respuestas de tiempo de reacción.

Reaction Time: from Chronoscope to Wave Theory. In this work we present a procedure to analyse reaction time data. The procedure is derived from the functional model proposed by Bonnet and others (Bonnet and Link, 1998; Bonnet and Dresp, 2001) which in its turn was developed from ideas stemming from the Wave Theory of difference and similarity proposed by Link (1992). The aim of this procedure is to separate sensorial from decisional components in a behavioural response. Using data obtained from an experiment in which we measured reaction time to motion onset, we show the usefulness of the procedure and we discuss the theoretical implications and possible applications that can be derived from the ability to discriminate sensorial from decisional components in reaction time responses.

El Tiempo de Reacción (TR) constituye una variable fundamental para entender los sucesivos estadios del procesamiento de la información que realiza nuestro sistema nervioso central ante la aparición de un estímulo. Sin embargo, es preciso recordar que todas las medidas psicofísicas (y el TR debe ser considerado como tal) combinan efectos de diferentes factores y, por tanto, no debe asumirse que la respuesta observada es la única «salida» o el resultado directo del sistema sensorial estudiado (Bonnet, 1996). Siguiendo la hipótesis básica de la Teoría de la Detección de Señales (Green y Swets, 1966) podemos asumir que toda respuesta psicofísica está constituida, como mínimo, por un componente sensorial y un componente de tipo decisional. En este sentido, resulta de suma importancia que la Psicología Experimental disponga de modelos que le permitan separar los distintos componentes implicados en el procesamiento de la información ya que, de esta ma-

nera, podrá identificar con mayor precisión, por ejemplo, el origen de la alta variabilidad intra e interindividual que suele encontrarse en las medidas de TR.

En general, este tipo de modelos se ha basado en el análisis de datos provenientes de paradigmas experimentales clásicos donde el sujeto debe tomar una decisión (generalmente entre dos alternativas posibles) respecto a algún atributo particular del estímulo y expresar dicha decisión emitiendo una respuesta, generalmente binaria, lo más rápidamente posible. La información proveniente del estímulo se representa en términos de un proceso estocástico, y la toma de decisión como un mecanismo en el que los sucesivos valores del proceso se muestrean y acumulan en el tiempo hasta que se alcanza un nivel considerado umbral o criterio. El tiempo que insume el proceso de acumulación en alcanzar dicho umbral se identifica con el componente decisional de la respuesta del sujeto. Así pues, en principio, los modelos de muestreo secuencial permitirían (al menos desde un punto de vista teórico) separar el componente decisional de los no decisionales (seguramente más ligados al procesamiento estrictamente sensorial de la información) en una respuesta de tiempo de reacción. Entre los diferentes modelos de este tipo descritos en la literatura (véase Luce, 1986 para una revisión), los denominados de muestreo secuencial (Busemeyer y

Towsend, 1993; Laming, 1968; Link, 1992; Ratcliff, 1978; Smith, 1995) representan actualmente el modelo dominante en relación a la toma de decisiones (Heathcote, 1998).

La teoría de ondas (Link, 1992) constituye un modelo de muestreo secuencial que se conoce como «modelo de camino aleatorio» dado que la información proveniente del estímulo es conceptualizada en términos de señal a nivel de los receptores sensoriales que la integran acumulando su diferencia con el nivel basal de activación que mantiene el receptor. Dicha acumulación genera un camino aleatorio (*random walk*) que, en el caso que alcance a superar el criterio de respuesta del sujeto, desencadenará la respuesta conductual. Desde la teoría de ondas, podemos asumir que al presentarse un estímulo, el sujeto compara por substracción la onda evocada por el estímulo contra un referente interno y los valores *instantáneos* de esta comparación se van acumulando. Dicha acumulación genera el camino aleatorio que representa el proceso que sufre la información en el sistema sensorial.

En este trabajo se propone un procedimiento de análisis de los datos de tiempo de reacción a partir de los postulados de la Teoría de Ondas (Link, 1992) que permite diferenciar los componentes implícitos en una primera fase del procesamiento de la información (componente sensorial), de aquellos correspondientes a una fase posterior, de carácter cognitivo y que involucran un procesamiento más central de la información. Asimismo, el presente trabajo aporta datos empíricos provenientes de un experimento de detección al inicio del movimiento que ilustra el procedimiento de análisis desarrollado y muestra su utilidad en la separación de componentes.

Sensibilidad y criterio: ondas y tiempo de reacción

La conceptualización del tiempo de reacción como un agregado de tiempos permite comprender mejor las relaciones existentes entre las diferentes etapas de tratamiento del proceso perceptivo. Desde esta concepción serial, propuesta inicialmente por Donders, podemos asumir que existen, por lo menos, dos grandes fases en el tratamiento de la información: una de tipo *sensorial* (periférica) y otra *decisional*, de carácter más central, que incluye al *criterio de respuesta*. En este sentido, el criterio de respuesta se define como el conjunto de todos aquellos aspectos que permanecen bajo el control del sujeto y que determinan el «quantum» o cantidad mínima de información que requiere el sistema para dar paso a la respuesta conductual.

La teoría de ondas

La teoría de ondas para la discriminación (Link, 1992) constituye un marco formal que permite representar el proceso originado en un sistema sensorial a partir de la presentación de un estímulo (e incluso antes). Esencialmente, en cada instante «t» el estímulo produce una cantidad variable de eventos internos, distribución de señal, que generan una actividad que se compara con un referente interno, distribución de ruido, correspondiente al nivel de actividad basal del sistema. De esta manera, el inicio de la respuesta requiere de la discriminación entre dos valores estimuladores, conceptualizados como señal y ruido. Teóricamente (Link, 1992; Smith, 1995), las distribuciones de señal y de ruido pueden representarse según el modelo de la ley de Poisson, con parámetros λ_1 y λ_2 , respectivamente. Asimismo, la acumulación de las diferencias instantáneas, llamadas valores informativos, entre la actividad

generada por la señal y la que actúa como referente interno del sistema representa un camino aleatorio creciente en el tiempo. A este respecto, Link (1992), mantiene que la variabilidad del error es creada por el conjunto de transductores que, en respuesta a la estimulación, definen una «onda» de Poisson consistente en «paquetes» de energía. Dicha onda, no es más que una metáfora para designar el proceso estocástico que describe la asimilación temporal de la representación del estímulo en el sistema perceptivo. La comparación entre ondas de Poisson, es un mecanismo neurofisiológico plausible de funcionamiento de las unidades del sistema perceptivo (Simpson, Newman, Braun y Barga, 2000; Smith, 1995; Smith y Van Zandt, 2000), fundamentalmente cuando el sistema debe discriminar entre estímulos dicotómicos (respuestas de elección).

La respuesta del sujeto se produce cuando la acumulación de estas diferencias instantáneas de actividad o valores informativos alcanza un determinado nivel o umbral (criterio de respuesta). La acumulación de las diferencias instantáneas constituye un mecanismo más parsimonioso para el sistema sensorial que el de la medición de las diferencias a cada instante ya que esto último podría generar valores altos instantáneos por efecto del ruido. Por otra parte, las diferencias acumuladas entre dos distribuciones de ruido, es decir, la activación que presenta el sistema ante la no presencia de un estímulo en particular, genera también un camino aleatorio que, a diferencia del que proviene de la comparación entre señal y ruido, no alcanza el umbral de respuesta (véase Figura 1).

El promedio resultante de varios caminos aleatorios crecientes para un único valor de intensidad del estímulo se puede aproximar mediante una función lineal. Link y Bonnet, (1998) demuestran matemáticamente que, para intensidades supraumbrales, la pendiente de dicha función lineal debe ser igual a 1. Bajo esta restricción, el único parámetro susceptible de variación respecto de la Intensidad del estímulo es el término independiente de la función lineal. El opuesto de dicho término independiente indica el origen de la función en el eje de abscisas, señalando la latencia inicial del camino aleatorio generado por la acumulación de diferencias entre señal y ruido (véase Figura 2). Este tiempo inicial representará el componente sensorial de la respuesta del sujeto que depende principalmente de la intensidad del estímulo.

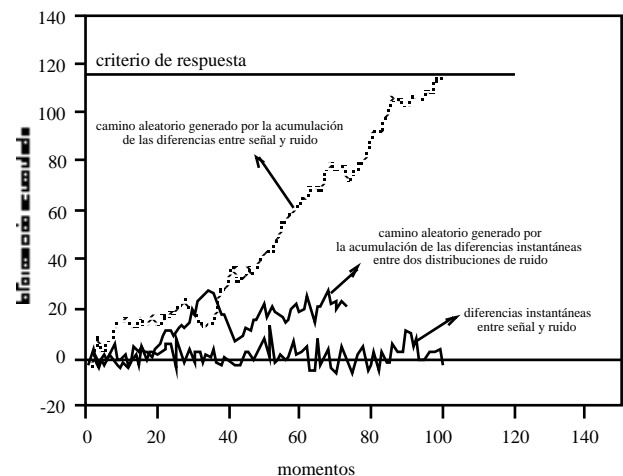


Figura 1. Representación simulada de los posibles procesos que suceden en el receptor sensorial

El tiempo de reacción y la intensidad: la función de Piéron

Son numerosas las evidencias empíricas que señalan que el tiempo de reacción disminuye a medida que la intensidad del estímulo aumenta. Piéron (1914) propuso una función hiperbólica que permite representar la variación del tiempo de reacción en relación con la intensidad del estímulo. Dicha función de Piéron se define por: $TR = \beta \times I^{-\gamma} + t_0$, donde TR es el tiempo de reacción, β un parámetro de ajuste, I la intensidad del estímulo, γ el exponente y t_0 un tiempo de reacción asintótico. El exponente (γ) representa un parámetro de sensibilidad que determina la respuesta sensorial del sujeto a la tarea. Concretamente, se refiere al componente de la respuesta que depende fundamentalmente de la intensidad del estímulo, aunque evidentemente dicho parámetro es específico de cada modalidad sensorial y, en la actualidad, existen considerables divergencias entre los valores propuestos (Maiche, Moliner, Mateeff y Bonnet, 2000). Link (1992) mantiene que el parámetro t_0 es representativo del tiempo de reacción mínimo en que se admitiría respuesta para una determinada tarea y modalidad sensorial, pero además, está relacionado con lo que el autor denomina «disposición del sujeto a responder» (*willingness to respond*), es decir, con el criterio de respuesta de cada sujeto. Finalmente, el parámetro de ajuste β depende de las unidades estímulares y del rango de tiempos de reacción observados. La función de Piéron ha sido utilizada para describir la variación del tiempo de reacción en diferentes modalidades sensoriales (Bonnet, Zamora, Buratti y Guirao, 1999; Dzhaferov, Sekuler y Allik, 1993; Maiche, Moliner, Mateeff y Bonnet 2001; Maiche, 2002; Mateeff, Genova, y Hohnsbein, 1999; Pins y Bonnet, 1996, 1997; Tynan y Sekuler, 1982). Aunque los valores de ajuste obtenidos han resultado ser muy satisfactorios debe considerarse que los tres parámetros de la función de Piéron presentan, generalmente, un alto grado de dependencia mutua que dificulta su interpretación.

Análisis de los datos de tiempo de reacción

Bonnet y Link (1998), basándose en las premisas propuestas por Link (1992), proponen un modelo que permite evaluar si la alta variabilidad comúnmente observada en los tiempos de reacción entre sujetos (o de un mismo sujeto en distintas sesiones) puede

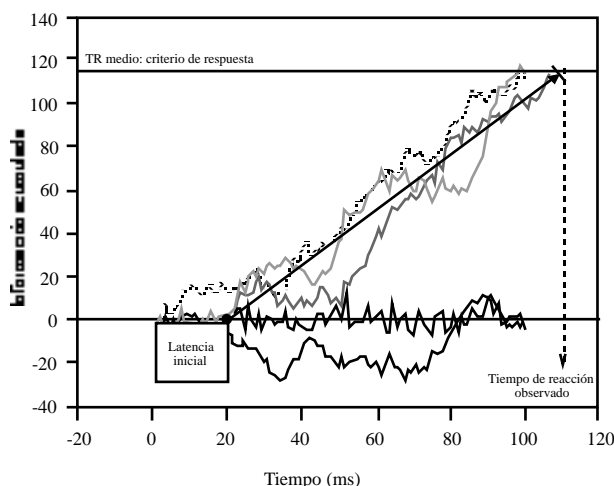


Figura 2. Identificación gráfica de los elementos más importantes del proceso de acumulación de información en el receptor sensorial para el procedimiento de análisis de los datos de Tiempo de Reacción

atribuirse a variaciones de la respuesta sensorial o a cambios en el criterio de respuesta. Estos autores, bajo la restricción de considerar niveles de intensidad supraumbrales, describen tres aspectos fundamentales del modelo que permiten desarrollar un procedimiento de análisis de los datos de tiempo de reacción capaz de separar los componentes sensoriales de los componentes decisionales de la respuesta.

En primer lugar, al presentar el estímulo se inicia un proceso estocástico de acumulación de la información sensorial. La naturaleza de dicho proceso permite asumir que cuanto mayor sea la intensidad del estímulo, antes se activará el proceso de acumulación de la información en el receptor sensorial, es decir, menor será la latencia inicial del camino aleatorio (véase figura 2). Por tanto, podemos considerar que el momento en el que se inicia el proceso de acumulación de información en el receptor es un buen indicador del componente sensorial de la respuesta. En segundo lugar, la respuesta del sujeto comienza cuando se acumula una determinada cantidad de información que corresponde con el criterio de respuesta; consecuentemente, cuanto más alto es el criterio de respuesta del sujeto mayor es el tiempo de reacción medio de dicho sujeto. Por tanto, podemos considerar el TR medio de cada sujeto para representar aproximadamente el momento en que se detiene el proceso de acumulación, es decir, como una medida aceptable de su criterio de respuesta. Finalmente, el tiempo de reacción observado muestra el transcurso temporal físico, y se define como el tiempo que necesita el proceso de acumulación de la información para alcanzar el criterio de respuesta *para cada una de las intensidades del estímulo*. Dicho tiempo depende, por un lado, del momento en que se inicia la acumulación de información en el receptor (componente sensorial) y, por otro, del criterio de respuesta ligado a la disposición del sujeto a responder (componente decisional).

En resumen, puede decirse que el proceso de acumulación de la información comienza siempre en el receptor sensorial pero en diferentes momentos según la intensidad del estímulo, por lo que existe una función de acumulación de la información específica para cada una de las intensidades. Las pendientes de dichas funciones de acumulación deben tomar valores cercanos a la unidad tal como lo demuestran matemáticamente Link y Bonnet (1998). Asimismo, el opuesto del término independiente, representativo del momento en que el receptor comienza a acumular información, varía con la intensidad del estímulo describiendo una función hiperbólica, denominada función de sensibilidad, cuyo exponente es indicativo de la respuesta sensorial del receptor. Seguidamente se presentan los resultados de un experimento de TR a la detección del inicio del movimiento y el procedimiento de análisis realizado a fin de separar los componentes sensoriales y decisionales de las respuestas de los diferentes sujetos utilizados.

Método

Sujetos

El experimento se realizó con cuatro sujetos de diferentes edades, todos ellos con visión normal. Tres sujetos jóvenes cuya media de edad era de 30 años y un cuarto sujeto de 59 años de edad. La inclusión de un sujeto de edad relativamente avanzada responde a la intención de someter a prueba la capacidad del procedimiento de análisis para detectar diferencias de tiempo de reacción atribuibles a cambios en el criterio de respuesta o en la sensibilidad. Si bien el origen del aumento de TR que suelen presentar los

sujetos de mayor edad es un tema aún muy controvertido, algunos autores (Melis, Soetens y van der Molen, 2002) sugieren que los procesos de alto nivel o cognitivos son más vulnerables en los sujetos de edad avanzada que los procesos de bajo nivel o sensoriales. En este sentido, podemos pensar que el aumento del TR habitualmente detectado en sujetos mayores no se relaciona necesariamente con un cambio sensorial. La utilidad del procedimiento de análisis que se presenta en este trabajo, radica en la posibilidad de dotar a los psicólogos experimentales de herramientas de análisis de los datos del TR que profundizar en el conocimiento de los diferentes tipos de procesamiento de la información que pueden estar relacionados, por ejemplo, con la edad de los sujetos.

Aparatos

Se utilizó un software de presentación de estímulos especialmente desarrollado para el experimento que se ejecutaba sobre un ordenador Pentium II a 400Mhz. Cada estímulo se presentaba en un monitor color de alta resolución EIZO 21" (53.34 cm de diagonal) con una resolución de pantalla de 1280×1024 píxeles; 8 bits por píxel y una frecuencia de refresco de 85 hercios no entrelazados. Los sujetos observaban la secuencia con visión binocular. Para medir los tiempos de reacción se utilizó un *timer* externo de alta resolución que se ejecutaba sobre un segundo ordenador conectado al Pentium II y a un dispositivo especial de 2 botones (caja de respuestas). La visión de los sujetos se fijó en el centro exacto de la pantalla a 60 cm de distancia lo que proporcionaba un ángulo de visión global vertical de 31.04° y horizontal de 38.8° .

Estímulos

Los estímulos eran líneas que aparecían en el centro del monitor y después de un intervalo de tiempo aleatorio de entre 510 y 700 milisegundos empezaban a moverse. El movimiento se generaba por el software mencionado a través del volcado en pantalla de las líneas adyacentes desde la memoria gráfica de la tarjeta de video con una tasa de refresco del monitor de 85 Hz. Por tanto, cada una de las imágenes de la secuencia se presentaba en pantalla cada 11.7 milisegundos desde la memoria de vídeo en sincronía con la frecuencia de refresco. La duración del movimiento variaba de manera aleatoria entre 100 y 290 milisegundos a fin de minimizar el uso de la distancia recorrida y reducir la posibilidad del sujeto a seguir al objeto con la mirada. El sentido del movimiento variaba de manera aleatoria (izquierda o derecha) en los diferentes ensayos. La luminancia de todas las líneas utilizadas era de 50 cd.m^{-2} y se presentaban sobre fondo negro con luminancia media de 0.3 cd.m^{-2} en un ambiente muy poco iluminado.

Procedimiento

La tarea consistía en indicar el sentido del movimiento (izquierda o derecha) tan rápidamente como fuera posible pulsando el botón correspondiente de la caja de respuestas. Los posibles efectos de anisotropía sobre la dirección fueron verificados previamente mediante una prueba control que permitió descartar la hipótesis de diferencias sistemáticas en el tiempo de reacción al inicio del movimiento debidas a factores perceptuales relacionados con el sentido del movimiento. La velocidad de los estímulos, conceptualizada como variable de intensidad en el experimento, variaba de ensayo a ensayo siguiendo las reglas del método de estí-

mulos constantes definiéndose así cinco niveles de velocidad: 1.12; 2.06; 4.12; 8.06 y 15.94%/seg.

Cada sesión se componía de 250 ensayos, distribuidos en 50 repeticiones por nivel de velocidad. La duración media aproximada de cada sesión experimental fue de 20 minutos y cada sujeto realizó 10 sesiones experimentales, además de la fase de entrenamiento, contabilizando un total de 2500 ensayos. Los sujetos no disponían de ningún tipo de feedback para realizar la tarea y, entre ensayo y ensayo, se intercalaba una pantalla negra durante 3 segundos para evitar los posibles efectos de post-imagen del estímulo anterior.

Resultados

El procedimiento de análisis de los datos de tiempo de reacción que se propone permite dilucidar si los cambios en el TR de los sujetos provienen del componente sensorial o del componente decisonal de la respuesta de los sujetos. El procedimiento de análisis parte de la descripción de la variación de los tiempos de reacción en función de la intensidad mediante el ajuste de los datos brutos a la función de Piéron (1914) y, seguidamente, se construyen las funciones de acumulación de la información que representan *grasso modo* el proceso previo a la respuesta en el sujeto que tiene lugar en el sistema perceptivo hasta alcanzar la respuesta motora.

Las unidades en las que se puede medir la información acumulada es un tema controvertido aunque el criterio de respuesta, entendido como el tiempo en que se detiene el proceso de acumulación, puede considerarse un buen representante de la información acumulada (Link, 1992). Asimismo, el tiempo que consume todo el proceso hasta desencadenar la respuesta en cada una de las intensidades estudiadas en el experimento, queda representado por los valores de tiempo de reacción observados. De esta manera, las funciones de acumulación pueden graficarse en un sistema de coordenadas en el que el criterio de respuesta está en función del tiempo de reacción observado (ver figura 2).

La relación entre el tiempo de reacción medio específico para cada intensidad (tiempo de reacción observado) y el criterio de respuesta (tiempo de reacción medio para todas las intensidades) es lineal; y la pendiente de dicha función es aproximadamente igual a 1 para todas las intensidades supra-umbral evaluadas (Link y Bonnet, 1998). Como se muestra más adelante (véase la figura 3) al asumir un valor de la pendiente igual a 1, el opuesto del término independiente representa el origen de la función de acumulación en el eje de las abscisas o, de manera equivalente, el momento en el que el receptor sensorial comienza a acumular información.

La variación de los opuestos de los términos independientes de las funciones de acumulación ($-b$ en el panel inferior de la figura 3) describe también una función de Piéron cuyo exponente es un indicador preciso de la respuesta sensorial de los sujetos a la tarea. En este sentido, el análisis de la figura 3 revela que las diferencias de tiempo de reacción medio que presentan los 4 sujetos (véase el panel superior de la figura 3) se pueden atribuir al establecimiento de diferentes criterios de respuesta por parte de los sujetos. Los orígenes de las 5 funciones de acumulación (una para cada intensidad: velocidad) de los 4 sujetos pertenecen a una misma función de sensibilidad cuyo exponente (0.66) representa la respuesta sensorial de todos los sujetos. Por tanto, podemos sugerir que los 4 sujetos tienen la misma sensibilidad para la tarea propuesta y sus diferencias de TR (fundamentalmente las que se constatan entre el sujeto de mayor edad y los sujetos jóvenes) provienen fundamentalmente de la utilización de diferentes criterios de respuesta.

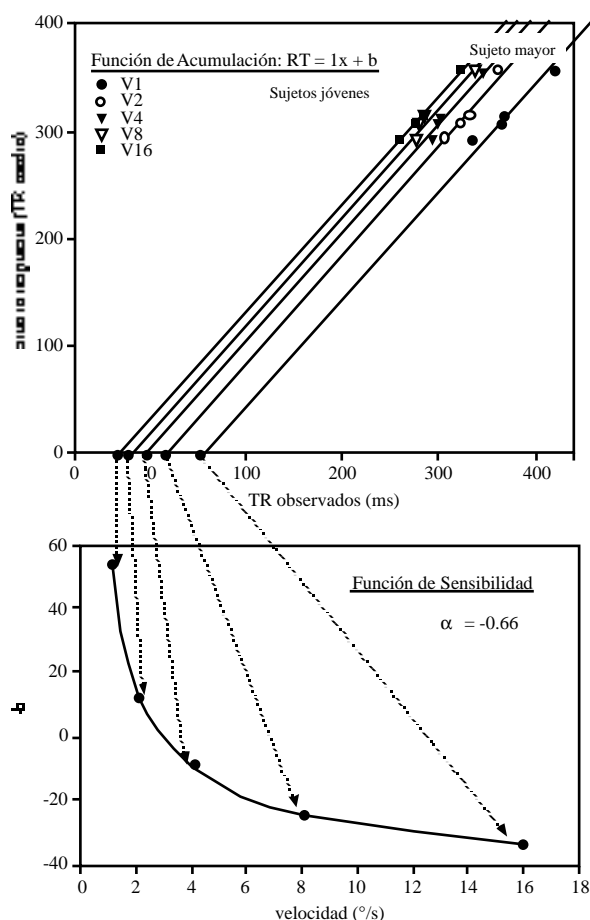


Figura 3. Procedimiento de análisis de los datos de TR obtenidos en el experimento. La escala elegida para la representación gráfica del panel superior responde exclusivamente a fines didácticos y pretende facilitar al lector la interpretación de los diferentes componentes del procedimiento

Si los sujetos tienen la misma respuesta sensorial (o sea que sus respuestas insumen aproximadamente el mismo tiempo de procesamiento sensorial), sus datos de tiempo de reacción medio (representante del criterio de respuesta) para una misma intensidad del estímulo se ajustarán a una única función lineal de acumulación (véase el panel superior de la figura 3). En la figura 3 se puede apreciar como el sujeto de mayor edad presenta un TR medio más alto que los sujetos más jóvenes debido, con seguridad a la definición de un criterio de respuesta más alto y/o a que la velocidad de sus procesamiento es más lenta.

Esta diferencia en el procesamiento de la información de uno de los sujetos utilizados quedaría diluida ante un análisis clásico de los TR donde se procedería a la representación de la variación del TR en función de la intensidad mediante la estimación de los parámetros de la función de Piéron. Uno de los problemas que presenta dicha función es que cuando se ajusta con los datos brutos de TR, los tres parámetros presentan un alto grado de interdependencia, lo que repercute en la precisión con que estos son habitualmente estimados. En este sentido, otra de las ventajas que presenta este procedimiento de análisis es en relación con la estimación de los parámetros de la función de Piéron ya que si construimos la función de Sensibilidad a partir de los opuestos de los términos independientes de las funciones de acumulación (panel inferior de la

figura 3) el parámetro sensorial o exponente de la función de Piéron no resulta tan afectado por los diferentes criterios de respuesta utilizados por cada sujeto durante el experimento.

Por tanto, podemos asumir que los orígenes de las funciones de acumulación definen una función teórica de la sensibilidad de los 4 sujetos (panel inferior de la figura 3) cuyo exponente constituye un indicador de la respuesta sensorial de todos ellos para esta tarea. En este caso particular, el exponente 0.66 coincide con el valor propuesto por Dzhamarov et al. (1993) para una tarea de detección al inicio del movimiento como la empleada en este experimento. Dado que existe un sujeto que presenta tiempos de reacción más elevados que el resto (sujeto de mayor edad), una función de Piéron definida a partir de los tiempos de reacción medios brutos de todos los sujetos resultaría sesgada. Dicho sesgo no aparece en la función de Sensibilidad que propone nuestro procedimiento ya que ésta se construye a partir de los opuestos de los términos independientes de las funciones de acumulación, es decir, a partir del tiempo de procesamiento sensorial de la información (véase figura 2). Dicha variable es independiente de los aspectos decisionales presentes en los datos brutos de tiempo de reacción.

Discusión

A lo largo del trabajo se ha expuesto un procedimiento de estudio y análisis de los datos de tiempo de reacción que permite la conceptualización del tiempo de reacción como un agregado o concatenación de tiempos (latencias). En este sentido, el procedimiento pretende diferenciar al menos dos fases en el procesamiento de la información que resultan ser de gran importancia. A saber, un componente sensorial directamente vinculado a la modalidad sensorial y un componente decisional definido en términos de criterio de respuesta o de decisión. Esta distinción permite abordar con nuevos argumentos la problemática sobre la variabilidad del tiempo de reacción, aspecto que con relativa frecuencia se ha atribuido a las características neurofisiológicas propias del sistema implicado. Así, el hecho de «aislar» el componente decisional posibilita, al menos en principio, el establecimiento de hipótesis de trabajo en las que el efecto del componente sensorial pueda considerarse «constante». La adopción de esta premisa otorga quizás una mayor relevancia a la afirmación de Schall (2001) al estudiar las bases neurofisiológicas de los procesos de decisión y elección: «La duración y variabilidad de los tiempos de respuesta han sido un problema central en la Psicología debido a que no pueden explicarse únicamente por transducción y demoras en la transmisión neuronal» (pp.38).

En este sentido, la integración de datos conductuales y neurofisiológicos deben de contribuir a la definición de mayor número de premisas formales con las que mejorar el procedimiento de análisis presentado y, consecuentemente, su aplicación a tareas de procesamiento sensorial específicas. En relación con lo anterior, podemos pensar que el desarrollo evolutivo de los sujetos podría acotar en cierta medida el rango de variación intrasujeto de los tiempos de reacción. De esta forma, los datos obtenidos por Kail (1991a, 1991b, 1996) que señalan a la velocidad de procesamiento como un mecanismo de desarrollo cognitivo podrían explicar, al menos en parte, las diferencias que se constatan en función de la edad.

Por otra parte, una cuestión todavía sometida a debate se refiere a la utilización del tiempo de reacción frente a otras estrategias de juicio como la estimación de magnitudes o la igualación. Concretamente, mediante el uso del tiempo de reacción los sujetos no

deben responder a una pregunta o estimación sobre el efecto del factor experimental de interés. Así por ejemplo, en experimentos sobre percepción de velocidad en los que se utiliza la estimación de magnitudes, los sujetos emiten juicios perceptivos sobre la velocidad que, además, muchas veces conllevan implícitas tareas de comparación. En cambio, la variación del TR (por ejemplo ante el inicio de movimientos de diferentes velocidades como se muestra en el experimento anterior) constituye un indicador más preciso de la velocidad percibida por el sujeto, incluso asumiendo que el sujeto no está evaluando directamente la velocidad. No obstante, la anterior afirmación nos introduce de lleno en una cuestión de muy larga tradición en psicología y que apela a los propios fundamentos de la medida psicológica (Krant, Luce, Suppes y Tversky, 1971)

Desde esta perspectiva, el análisis de los TR propuesto en este trabajo permite adoptar una nueva estrategia de investigación que, en nuestra opinión, aporta argumentos formales para poder abordar con mayor precisión la problemática clásica sobre si el aumento del tiempo de reacción con la edad es debido a cambios en la sensibilidad o a cambios en la fase decisional. Si bien los resultados del experimento que presentamos habilitan a pensar que el sujeto de mayor edad no tiene una sensibilidad diferente a los sujetos más jóvenes, no estamos en condiciones de afirmar que los

sujetos mayores deban tener sistemáticamente un criterio más alto que los más jóvenes, aunque hay razones para creer que la velocidad de sus procesamientos es más baja (véase, por ejemplo, Pins y Bonnet, 1996). La respuesta a este tipo de preguntas necesita de mayor profundización al menos en dos áreas de conocimiento. Por un lado, resulta fundamental la realización de nuevos estudios de carácter neurofisiológico que permitan delimitar con precisión los «tiempos de paso» de la información por los correspondientes núcleos y centros nerviosos (Arbib, 2001). Y, por otro lado, es preciso realizar nuevas investigaciones orientadas específicamente a determinar el marco global de actuación, si así puede decirse, del componente decisional. Posiblemente, la integración de las premisas que sostienen nuestro procedimiento de análisis en un enfoque computacional que contemple el desarrollo e implementación de algoritmos de procesamiento no lineal, como por ejemplo redes neuronales, aporte información relevante en este sentido.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias a la ayuda BSO2001-2008 de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica (DGICYT).

Referencias

- Arbib, M.A. (2001). Object recognition notes. Acceso 2-12-2002. Disponible en: http://www-scf.usc.edu/~csci564/lec-notes_fall2001/07_ObjectRecognitionNotes.doc.
- Baxter, B. (1942). A study of reaction time using factorial design. *Journal of Experimental Psychology*, 31, 430-437.
- Bonnet, C. (1996). Sensory/Decisional problem: An expansion of Link theory. En S. Masin (Ed.). *Fechner Day 96* (pp. 137-142). Padoue: International Society of Psychophysics.
- Bonnet, C. y Dresch, B. (2001). Investigations of sensory magnitude and perceptual processing with reaction times. *Psychologica*, 28, 63-86.
- Bonnet, C. y Link, S. (1998). Analyzing individual differences in reaction time. En Gondrin, S. y Lacouture, Y. (Eds.). *Fechner Day 98* (pp. 161-166). Québec: International Society of Psychophysics.
- Bonnet, C., Zamora, M.C., Buratti P. y Guirao M. (1999). Group and individual gustatory reaction times and Piéron's law. *Physiology & Behaviour*, 66, 549-558.
- Busemeyer, J.R. y Townsend, J.T. (1993). Decision field theory: a dynamic-cognitive approach to decision making in uncertain environment. *Psychological Review*, 100, 432-459.
- Dzhafarov, E.N., Sekuler, R. y Allik, J. (1993). Detection of changes in speed and direction of motion: reaction time analysis. *Perception and Psychophysics*, 54, 733-750.
- Green, D.M. y Swets, J.A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. New York: Wiley.
- Heathcote, A. (1998). Neuromorphic models of response time. *Australian Journal of Psychology*, 50, 157-164.
- Kail, R. (1991a). Processing time declines exponentially during childhood and adolescence. *Developmental Psychology*, 27(2), 259-266.
- Kail, R. (1991b). Developmental change in speed of processing during childhood and adolescence. *Psychological Bulletin*, 109(3), 490-501.
- Kail, R. (1996). Nature and consequences of developmental change in speed. Acceso 10-12-2002. Disponible en <http://www.psych.purdue.edu/~rk/swissjp.html>
- Krant, D.H., Luce, R.D., Suppes, P. y Tversky, A. (1971). *Foundations of measurement* (Vol. 1). New York: Academic Press, Inc.
- Laming, D.R.J. (1968). *Information theory of choice reaction times*. London: Academic Press.
- Link, S. (1975). Relative judgement theory of two-choice response time. *Journal of Mathematical Psychology*, 12, 114-135.
- Link, S.W. (1992). *The wave theory of difference and similarity*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Link, S. y Bonnet, C. (1998). Wave theory and simple reaction time. En Gondrin, S. y Lacouture, Y. (Eds.). *Fechner Day 98* (pp. 155-160). Québec: International Society of Psychophysics.
- Link, S. y Heath, R.H. (1975). A sequential theory of psychological judgement. *Psychometrika*, 40, 77-105.
- Luce, R.D. (1986). *Response times: their role in inferring elementary mental organization*. New York: Oxford University Press.
- Maiche, A. (2002). *Tiempo de reacción al inicio del movimiento: un estudio sobre la percepción de velocidad*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. Tesis doctoral no publicada.
- Maiche, A., Moliner, J.L., Mateeff, S. y Bonnet, C. (2000). Real and apparent velocities: A reaction time study. Bonnet, C. (Ed.), *Fechner Day 2000* (pp. 251-256). Strasbourg: International Society of Psychophysics.
- Maiche, A., Moliner J.L., Mateeff, S. y Bonnet, C. (2001). The reaction time to motion onset is related to the perceived speed. *Perception*, 30, 65-66.
- Mateff, S., Genova, B. y Hohnsbein, J. (1999). The simple reaction time to changes in direction of visual motion. *Experimental Brain Research*, 124, 391-394.
- Melis, A., Soetens E. y van der Molen, M.W. (2002). Process-specific slowing with advancing age: evidence derived from the analysis of sequential effects. *Brain Cognition* 49(3), 420-35.
- Piéron, H. (1914). Recherches sur des lois de variation des temps de latence sensorielle en fonction des intensités excitatrices. *L'Année Psychologique*, 20, 17-96.
- Piéron, H. (1920). Nouvelles recherches sur l'analyse du temps de latence sensorielle et sur la fonction qui relie ce temps à l'intensité de l'excitation. *L'Année Psychologique*, 22, 58-142.
- Pins, D. y Bonnet, C. (1996). On the relation between stimulus intensity and processing time: Piéron's law and choice reaction time. *Perception and Psychophysics*, 58, 390-400.
- Pins, D. y Bonnet C. (1997). Reaction times reveal the contribution of the different receptors components in luminance perception. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4, 359-366.
- Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psychological Review*, 85, 59-108.

- Schall, J.D. (2001). Neural basis of deciding, choosing and acting. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(January), 33-42.
- Simpson, W.A., Newman, A.J., Braun, W.J. y Bargen, C. (2000). Identification of the eye-brain-hand system with point processes: a new approach to simple reaction time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(2), 1.675-1.690.
- Smith, P.L. (1995). Psychophysically principled models of visual simple reaction time. *Psychological Review*, 102, 567-593.
- Smith, P.L. y Van Zandt, T. (2000). Time-dependent Poisson counter models of response latency in simple judgement. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 53, 291-315.
- Stone, M. (1960). Models for choice reaction time. *Psychometrika*, 25, 251-260.
- Tynan, P.D. y Sekuler, R. (1982). Motion processing in peripheral vision: reaction time and perceived velocity. *Vision Research*, 22, 61-68.