

DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DEL TIEMPO DE RESPUESTA EN EXPERIMENTOS DE TOMA DE DECISIÓN. COMPARACIÓN CON UN MODELO NEURONAL

E. Izquierdo, R. Page, J. Codnia, A. Saal

INSTITUTO DE CIENCIAS. UNIVERSIDAD NACIONAL DE GENERAL SARMIENTO.
J. M. Gutiérrez entre Verdi y J. L. Suárez, (1613) – Los Polvorines - Buenos Aires - Argentina
e-mail: edu@ungs.edu.ar

Desde los años 60 diversos autores han medido los tiempos de respuesta humana necesarios para realizar tareas con consignas sencillas y desarrollado modelos teóricos sobre el proceso cognitivo involucrado en la tarea. Un experimento usual es el de la medida del tiempo necesario para decidir sobre cuál de dos números presentados sobre un monitor es el mayor (o el menor). Hemos realizado medidas del tiempo de respuesta con esta consigna en algunas personas, obteniendo una buena estadística por persona. Del análisis de los datos, además de confirmar la presencia de efectos ya señalados en la literatura, hemos encontrado que existe una relación lineal entre los tiempos de respuesta y su desviación estándar. Los parámetros de esta relación lineal resultan comunes en las diferentes personas que participaron del test, en contraste con otras características en las que difieren notoriamente, tal como la relación entre velocidad y precisión. Los datos obtenidos son contrastados con un modelo neuronal recurrente propuesto por nosotros². El modelo permite una buena descripción de los tiempos de respuesta medidos, de su relación lineal con la desviación estándar y del porcentaje de respuestas incorrectas. Esto se logra a partir de incluir en el modelo variaciones estocásticas del parámetro de ganancia del ciclo recurrente y de la representación interna de los dígitos.

Since the late sixties a considerable amount of research has focused on the processes underlying observers' judgment of numerical magnitude. A usually performed experiment measures the response time to compare two digits presented on a screen under the instructions select-larger or select-smaller. We performed these measurements on two participants with considerable amount of trials, to have statistically reliable data. The empirical analysis confirms the known effects reported in the literature. Furthermore, we found a linear relation between the mean response time and its standard deviation. The parameters from this relation are relatively similar to the participants of the test, in contrast to other features, as speed and precision, which differ notoriously among them. We contrasted these measurements with our recursive model² and found a good correlation for each compared pair of digits, in the mean response time, the standard deviation and the rate of mistaken answers. To account for the variance in the response time and the number of mistaken answers, two parameters in the model are considered as stochastic variables. Thus, the deterministic recursive model becomes a random walk model, easily represented with a schematic network.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso mental que un ser humano desarrolla durante una toma de decisión ha sido materia de mucho interés en las últimas décadas. Una de las formas en que se ha encarado su estudio es a partir de la medición del tiempo requerido por una persona para tomar decisiones que involucran comparaciones entre números, tamaño de objetos, tonalidades de colores o niveles de grises, etc. La evidencia experimental indica que el tiempo de respuesta se incrementa cuando los números u objetos comparados son cercanos entre sí (conocido como *Efecto Distancia*).

Moyer y Landauer³ fueron los primeros en medir el tiempo requerido por una persona para decidir sobre qué número (de un dígito) es el mayor entre dos dados. En el experimento los números son presentados simultáneamente y la persona debe responder lo más rápidamente posible sin cometer errores. Del análisis del experimento se verifica la existencia del *Efecto Distancia*. Otro efecto observado es el denominado *Efecto Congruencia*⁴, que consiste en una disminución en el tiempo de respuesta de aquellos pares incongruentes con la pregunta. Así, para números grandes y tarea

elegir el mayor, el tiempo de respuesta es más rápido que para la tarea elegir el menor. Lo contrario ocurre si los números son pequeños. Un tercer efecto, que aparece principalmente en comparación de estímulos no numéricos, es el *Efecto extremo o de borde*¹². Este consiste en una disminución en el tiempo de respuesta cuando uno de los estímulos comparados corresponde al menor o al mayor entre el conjunto de los estímulos ordenados. Por último, el efecto distancia se manifiesta empíricamente a partir de una relación lineal entre los tiempos de respuesta y el logaritmo de la distancia⁷.

II. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Hemos realizado medidas para el caso de comparación entre números del 1 al 9, obteniendo una buena estadística por persona². En el experimento se le presenta a la persona, en un monitor, ambos dígitos en forma simultánea. Ante la pregunta, por ejemplo, ¿cuál es el mayor?, la persona responde levantando un dedo (abre el circuito) correspondiente a la mano derecha o a la izquierda, dependiendo de que lado se halla el dígito mayor sobre la pantalla. El sistema de medición electrónico (precisión 1 ms) es independiente de la PC

con lo cual se evitan los tiempos muertos propios del CPU.

Del análisis de los datos, además de confirmar la presencia de los efectos ya señalados, hemos encontrado que existe una relación lineal entre los Tiempos de Respuesta, RT, y su desviación estándar, σ_{RT} . Los parámetros de esta relación lineal resultan comunes en las diferentes personas que participaron del test, en contraste con otras características en las que difieren notoriamente, tal como la relación entre velocidad y precisión. En la Figura 1 se muestran los gráficos de la

σ_{RT} en función del RT para las preguntas ¿cuál es el mayor? y ¿cuál es el menor?, para las personas 1 y 2. Cabe aclarar que la estadística no es la misma para cada una de las medidas. Los números de datos por par comparado son típicamente: 100 para seleccionar el mayor Participante 1, 30 para seleccionar el menor Participante 1, 35 para seleccionar el mayor Participante 2 y sólo 4 para seleccionar el menor Participante 2 (por lo cual la estadística en este último caso no es buena).

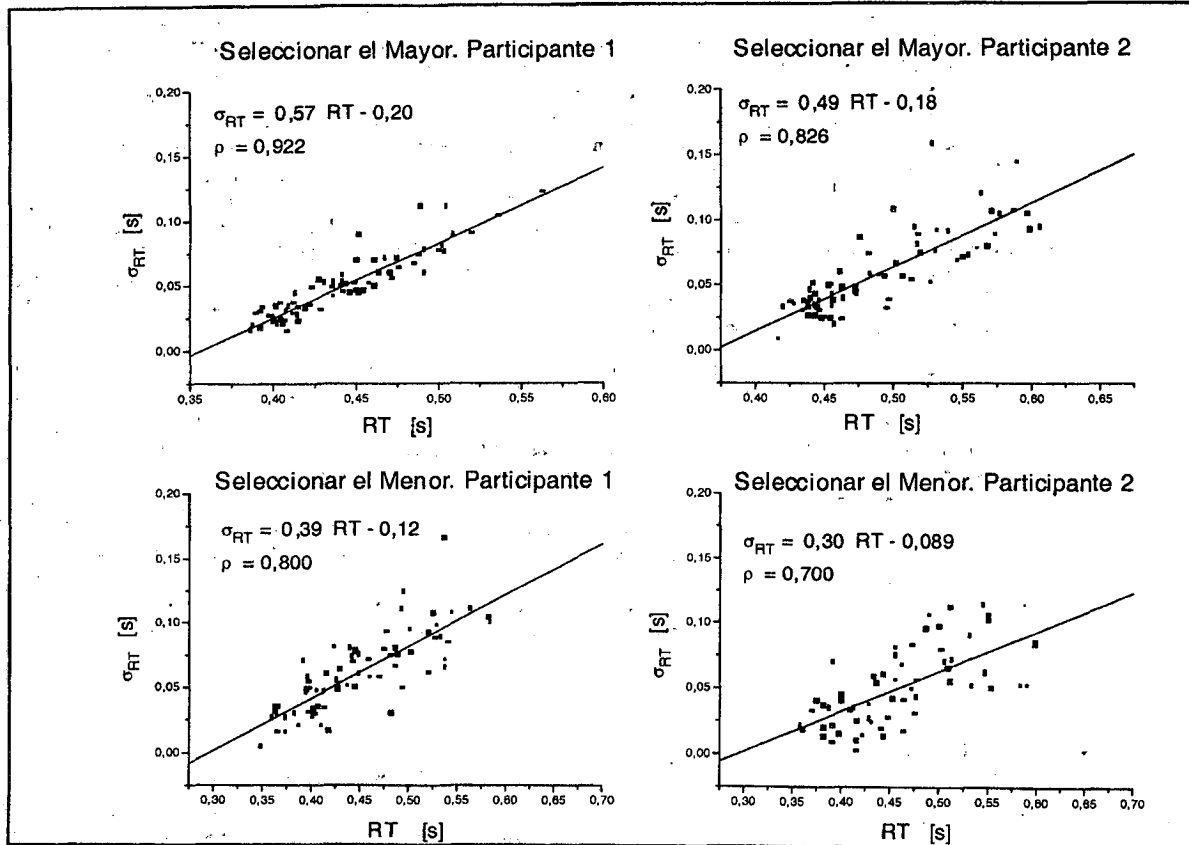


Figura 1: Desviación estándar del tiempo de respuesta en función del su valor medio.

III. MODELO CONEXIONISTA

En la literatura se han propuesto modelos computacionales que proponen que la toma de decisión es el resultado de una dinámica subyacente basada, por ejemplo, en premisas de tipo *camino al azar unidimensional* o *difusión*^{8,9}. En estos modelos, la información codificada de la diferencia entre los estímulos es acumulada hasta alcanzar cierto valor umbral, en donde el proceso de decisión finaliza. La inclusión de ruido en el proceso permite modelar la

existencia de respuestas equivocadas. La acumulación de la información hace las veces de filtro de la señal ruidosa. En otros modelos, la señal que codifica cada estímulo se acumula separadamente compitiendo entre sí a través de mutuas señales inhibitorias¹⁰.

En este marco, hemos desarrollado un modelo de acumulación^{2,11} que permite describir los efectos de distancia, congruencia, efecto extremo y la linealidad entre RT y el logaritmo de la distancia. El modelo se muestra esquemáticamente en la Figura 2.

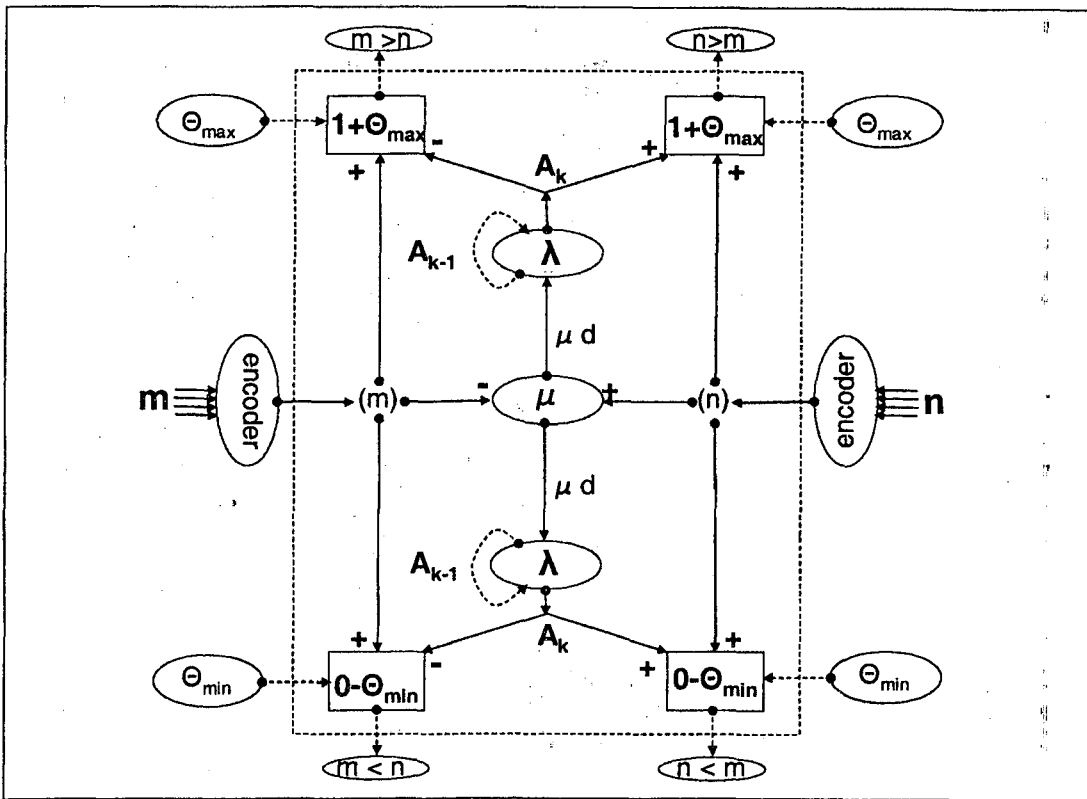


Figura 2: Red neuronal que esquematiza la dinámica de acumulación para la selección entre los estímulos m y n.

La dinámica del modelo se basa en un proceso de acumulación de una señal de entrada d . Esta señal corresponde a la diferencia $d = (n) - (m)$, donde (n) y (m) representan los códigos internos de los dígitos comparados (ver figura 2).

En el paso k-ésimo, la señal acumulada resulta:

$$A_k = \lambda (A_{k-1} + \mu d)$$

Una característica distintiva del modelo es que la señal se re-alimenta, con un parámetro de ganancia $\lambda > 1$, dando como resultado un crecimiento exponencial de la señal acumulada. La salida resulta positiva o negativa, dependiendo del signo de la diferencia "d" de los códigos.

La señal acumulada alimenta, con el signo adecuadamente elegido, las dos unidades de salida, pero éstas sólo se encienden si se sobrepasa cierto umbral de disparo. En la Figura 2 se ilustra cómo a cada unidad de salida también le llega la señal correspondiente de cada código.

Sólo aquellas unidades congruentes con la pregunta poseen un umbral bajo y pueden ser activadas. La mitad superior de la red se activa ante la tarea seleccionar-mayor mientras que la otra mitad ante la tarea seleccionar-menor. Si la tarea es seleccionar-mayor, hay una única unidad de salida en que las señales se suman constructivamente hasta alcanzar el umbral. Lo mismo ocurre si la tarea es seleccionar-menor.

A partir de la dinámica propuesta, el umbral se alcanza en el paso k-ésimo dado por la expresión (válida para la tarea seleccionar-mayor):

$$k = \frac{1}{\log \lambda} \log \left(q \left(\frac{1 + \theta_{max} - \min(n, m)}{d} \right) - q + 1 \right)$$

donde $q = \frac{\lambda - 1}{\mu \lambda}$

Al tiempo de respuesta lo asumimos lineal con k : $RT = \tau k + RT_0$, donde τ es el período de cada paso y RT_0 es un tiempo asociado al proceso de detección y motor.

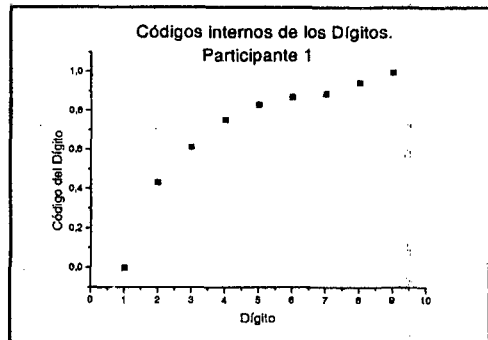


Figura 3: Codificación de los dígitos

Asumimos que la representación interna de los estímulos se halla relacionada a la forma en que éstos fueron aprendidos¹². En nuestro modelo, suponemos a los códigos internos como escalares y pueden ser elegidos sin pérdida de generalidad entre 0 y 1. Los consideramos como parámetros libres y los obtenemos a partir de la comparación con las mediciones del tiempo de respuesta². Como resultado se obtiene una función aproximadamente exponencial^{5,6}, con una especial separación de los códigos extremos, tal como muestra la Figura 3. En este trabajo hemos extendido nuestro modelo² a fin de describir no sólo el comportamiento de los RT sino también el de σ_{RT} y la proporción de respuestas equivocadas.

Como ya hemos dicho, la evidencia experimental muestra una relación lineal entre RT y σ_{RT} . Del análisis del modelo vemos que este comportamiento puede ser explicado si asignamos al parámetro de ganancia λ y a la diferencia de los códigos, d , sendas distribuciones Gaussianas con σ_{RT} y σ_d , respectivamente. La principal fuente de respuestas es σ_d . Esto resulta inmediato ya que si el signo de la señal de entrada fluctúa, la acumulación puede llevar a un resultado final con signo invertido y activar la unidad de salida equivocada.

Por último, consideramos una dispersión σ_0 la cual es independiente de la tarea de comparación y está asociada a los procesos de detección y motor.

Nuestro modelo se diferencia de otras propuestas, especialmente, por la existencia de una re-alimentación con $\lambda > 1$. Mientras mayor resulta éste parámetro, mayor es el peso de los primeros pasos en el proceso de acumulación, o sea que si λ crece, manteniendo fija la dispersión de la señal de entrada, se produce un aumento en la proporción de errores y la dispersión de los tiempos de respuesta, en mayor medida que en una acumulación simplemente aditiva. En la Figura 4 se muestra la comparación, para uno de los participantes, entre los valores medidos y los predichos por nuestro modelo. Se comparan los RT, σ_{RT} y proporción de respuestas equivocadas para las consignas seleccionar el mayor y seleccionar el menor. En el eje de las abscisas se ordenan sucesivamente los pares de dígitos comparados (primero por el dígito de la izquierda y luego por el de la derecha).

Los parámetros usados son los que aparecen en la tabla 1 y los siete códigos internos (el 1 y el 9 son codificados como 0 y el 1, respectivamente).

El parámetro $\sigma_0 = 40ms$, aunque estrictamente es un parámetro libre, puede estimarse a partir de experimentos relacionados. En experimentos de detección de un número particular (por ejemplo el 7) entre un par de dígitos presentados en el monitor¹, se obtiene la misma dispersión. Por el tipo elemental de tarea planteada en el experimento, resulta plausible asimilar esta dispersión a los procesos de detección y motor.

El par de parámetros λ y σ_λ no están unívocamente definidos. Existe un subespacio paramétrico de valores que permiten una descripción igualmente buena de los datos experimentales. Podemos seleccionar el valor de ambos parámetros si fijamos la duración τ de los pasos de acumulación. En este caso hemos elegido arbitrariamente $\tau = 3ms$. El tiempo RT_0 , no asociado al proceso de decisión, queda determinado a partir de los parámetros. En el caso del Participante 1, los valores obtenidos son: $RT_0 = 377ms$ y $350ms$ para las tareas seleccionar el mayor y seleccionar el menor, respectivamente.

Es importante enfatizar que con sólo la inclusión de los parámetros σ_λ y σ_d es posible describir muy bien la desviación estándar de los datos y la proporción de respuestas equivocadas. Además cabe destacar que el mismo juego de parámetros utilizados maximizan, separadamente, los coeficientes de correlación correspondientes a los RT, σ_{RT} y la proporción de respuestas equivocadas.

Las predicciones del modelo sobre la proporción de respuestas equivocadas debe ser considerada más cualitativa que cuantitativa ya que su porcentaje es muy pequeño, cercano al 5% en este tipo de experimentos, y por lo tanto los valores graficados resultan del promedio de muy pocas mediciones.

IV. CONCLUSIONES

Hemos comprobado la existencia de una relación lineal entre RT y σ_{RT} . A fin de describir este hecho experimental, hemos propuesto la inclusión de variaciones estocásticas de dos de los parámetros, de nuestro modelo conexionista. De esta forma el modelo, además de predecir cuantitativamente el efecto distancia, el de congruencia y el de borde, permite una muy buena descripción de la distribución estadística de los datos y de la proporción de respuestas equivocadas.

Una posible continuación de este trabajo es el de contrastarlo con tareas más difíciles que generen mayor proporción de respuestas equivocadas. Esto usualmente se logra en experimentos en donde los estímulos son fácilmente confundibles¹³ y además en donde el tiempo de respuesta se halla limitado. Diseños experimentales de este tipo permiten convalidar el modelo en procesos en donde la velocidad y la precisión de las respuestas se pueden controlar independientemente.

En nuestro modelo, los parámetros θ y λ serían los más adecuados para modular la velocidad y la precisión de las respuestas. Es razonable especular que con este tipo de experimentos la ambigüedad de los parámetros actuales se reduciría fuertemente.

Tabla 1: Parámetros usados en las simulaciones de las mediciones de la figura 4

Seleccionar Mayores	$\lambda = 1,115$	$\sigma_\lambda = 0,425$	$\sigma_d = 0,3$	$\theta_{Izq} = 0,8573$	$\theta_{Der} = 0,6442$	$\mu = 0.1$
Seleccionar Menores	$\lambda = 1,078$	$\sigma_\lambda = 0,228$	$\sigma_d = 0,3$	$\theta_{Izq} = 0,8573$	$\theta_{Der} = 0,6442$	$\mu = 0.1$

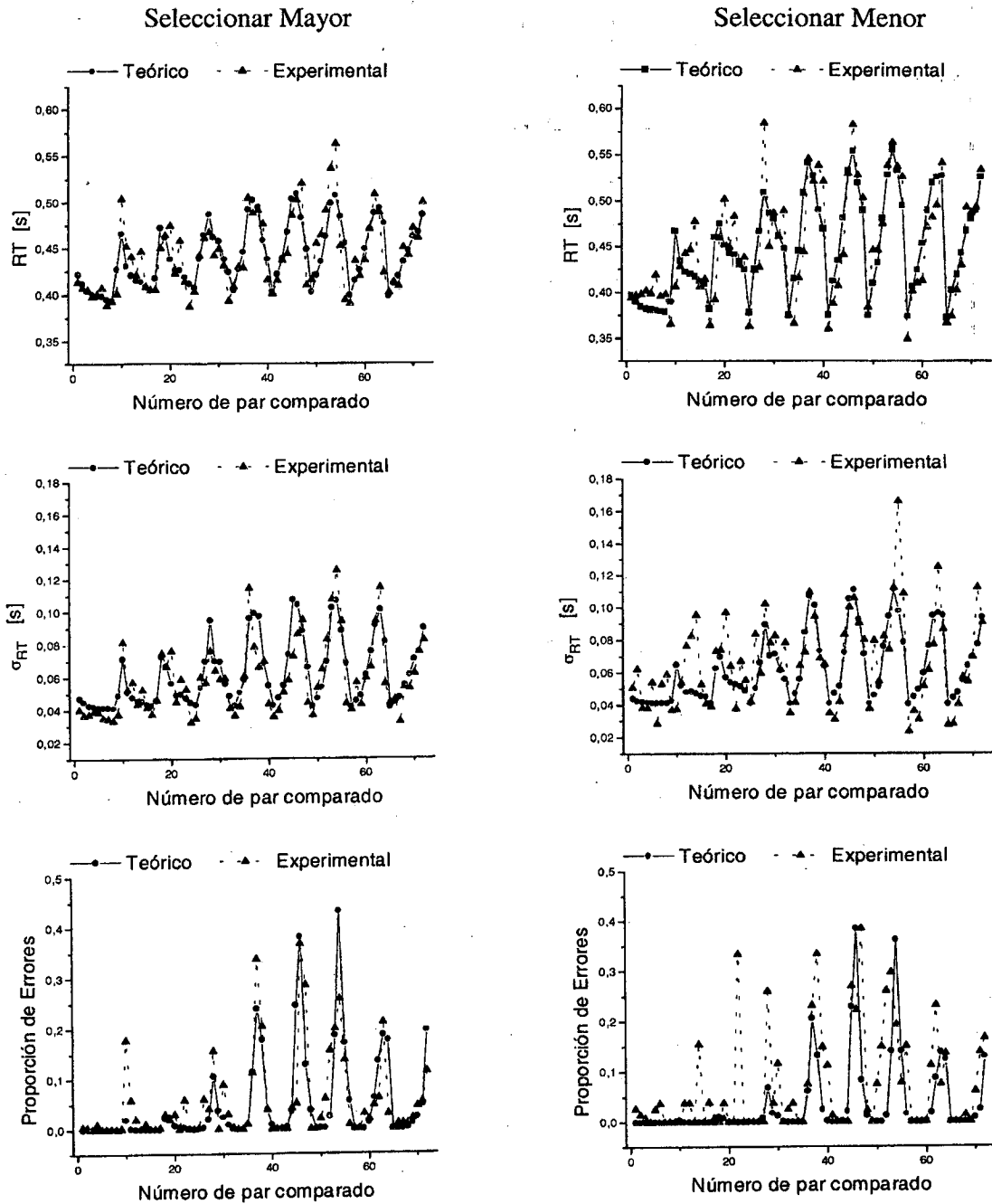


Figura 4: Valores teóricos y experimentales de RT, σ_{RT} y proporción de respuestas erróneas.

Referencias

- 1- **J.Codnia, A.Sartarelli, A.Saal, E. Izquierdo, C.El Hasi y R. Page.** Anales AFA, Vol 12, 188-192, 2000.
- 2- **R. Page, E. Izquierdo, A.Saal, J.Codnia y C.El Hasi.** Anales AFA, Vol 13, 2001.
- 3- **Moyer y Landauer (1967).** Time Required for Judgement of Numerical Inequality. *Nature*, (215).
- 4- **Jamienson & Petrusic, 1978.** Relational Judgments with Remembered Stimuli. *Perception and Psychophysics*, 8.
- 5- **Banks et al., 1976.** Semantic Congruity Effects in Comparative Judgements of Magnitudes on Digits. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2.
- 6- **Banks, 1977.** Encoding and processing of symbolic information in comparative judgments. In *G.H. Bodwer (Ed.), The psychology of learning and motivation*, (Vol. 11). New York: Academic Press.
- 7- **Welford 1960.** The Measurements of Sensory-Motor Performance: Survey and Reappraisal of Twelve Years' Progress. *Ergonomics*, 3.
- 8- **Link 1990.** Modeling Imageless Thought: The Relative Judgment Theory of Numerical Comparisons. *Journal of Mathematical Psychology*, 34.
- 9- **Ratclif et al., 1999.** Connectionist and Difusion Models of Reaction Times. *Psychological Review*, 95.
- 10- **Usher & MacCullen, 2001.** The Time Course of Perceptual Choice The Leaky, Competing Accumulator Model. *Psychology Review*, 108 (3).
- 11- **Page, Izquierdo, Saal, Codnia and El Hasi, 2002.** A response time model for judging order relationship between two symbolic stimuli. *Aceptado para su publicación a Perception & Psychophysics, con correcciones.*
- 12- **Leth-Steensen & Marley, 2000.** A Model of RT effects in Symbolic Comparison. *Psychological Review*, 107 (1), 62-100.
- 13- **Petrusic 1992.** Semantic congruity effect and theories of the comparison process. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18.