

REPRESENTACIÓN MENTAL DE SECUENCIAS ORDENADAS

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

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: asaal@ungs.edu.ar

Analizamos la cronometría de un experimento cognitivo. La tarea del participante consiste en decidir si el estímulo visual presentado en el monitor pertenece a una de dos categorías preestablecidas. En experimentos similares otros autores han usado como estímulo a los dígitos presentados en forma aleatoria y cada participante los debía categorizar como pares o impares. Para estas categorías, u otras en las que la decisión *no depende* de la magnitud del dígito se observa, sin embargo, un patrón característico de tiempos de respuesta que depende significativamente de la magnitud del dígito observado. Esta dependencia es conocida como "efecto SNARC". El efecto se observa en dígitos, pero los resultados son aún controversiales cuando los estímulos son conjuntos no cardinales como por ej., las letras. En este trabajo se midió el tiempo de respuesta para estímulos de dos tipos presentados de manera aleatoria y que se deben categorizar como dígitos o como vocales. Se analiza por separado la presencia del efecto para los dígitos y para las vocales. También realizamos mediciones para forzar una asociación entre el orden de las vocales y magnitud en los dígitos y estudiamos el efecto SNARC antes y después del mismo. Después de la asociación, se observó un deterioro del efecto SNARC en la categorización de las vocales. Este resultado sugiere nuevos experimentos para controlar mejor la asociación forzada.

We analyze the chronometry of an cognitive experiment. The participant decides whether the visual stimuli presented in the monitor belongs to one of two pre-established categories. Previous similar experiments have used the Arabic digits as stimuli and even or odd, as categories. With these or other categories that *do not depend* on the magnitude of the stimuli, the response time to judge the correct category of a stimulus depends on its magnitude in a characteristic way, known in the literature as the SNARC effect. This effect has been observed with digits but it is still controversial when the stimuli are a set of symbols with no cardinal property as, e.g., the vowels. In this work we used digits and vowels as stimuli and the participant is requested to decide if the observed stimulus is a digit or a vowel. We also performed a different experiment to force an association between the magnitude of digits and the order of vowels. We compare the SNARC effect before and after the association experiment. After the association experiment the SNARC effect in vowels disappears. This result suggests further experiments in order to better control the association between vowels and magnitud.

I. INTRODUCCIÓN

La adquisición de tiempos de respuesta (TR) en situaciones de laboratorio es un medio económico para estudiar procesos cognitivos en humanos. Actualmente, estos experimentos se pueden complementar con imágenes cerebrales para evaluar espacial y temporalmente los procesos de toma de decisión. Según la tarea y el estímulo, los tiempos medidos suelen variar entre 200 y 2000 ms. Se miden tanto el TR como su desviación estándar (de unos 50 ms) y también el TR y la frecuencia de las respuestas equivocadas. Todas estas magnitudes muestran patrones empíricos de interés. En experimentos sencillos, la tarea del participante es juzgar entre dos alternativas. En juicios de Selección (en cada evento) se decide por un estímulo, entre dos propuestos (seleccionar el mayor, o el menor o el más largo o el más grande). La carencia de una teoría general de los TR hace que la búsqueda de efectos empíricos sea importante. Un ejemplo de ellos es el "Efecto SNARC"⁽¹⁾ (Spacial-Numerical Association of Response Codes). Este efecto está asociado con la magnitud del dígito pero se observa en tareas con protocolos experimentales donde dicha magnitud "debería" ser irrelevante. En un experimento típico que manifiesta el Efecto SNARC, el participante observa un dígito en el monitor y debe juzgar sobre la paridad del estímulo (*no sobre su magnitud*). El experimento se desarrolla en dos etapas que se distinguen por la lateralidad de las respuestas; en una etapa la decisión "par" se responde con la tecla derecha. En la otra etapa se invierte la lateralidad. La magnitud de interés para

evaluar el Efecto SNARC es la diferencia de tiempos para juzgar la paridad de cada dígito: TR(tecla derecha) - TR(tecla izquierda). Lo sorprendente del Efecto SNARC es que esta diferencia resulta ser una función monótona decreciente de la magnitud del dígito, la que no es requerida para resolver la tarea.

El Efecto SNARC se manifiesta también en otros experimentos independientes, por ej., cuando la tarea es juzgar si el estímulo se presenta en el monitor con "font" normal o italic⁽²⁾.

En experimentos en que se manifiesta el Efecto SNARC, si el estímulo que se juzga corresponde a un dígito grande, accionar la tecla derecha lleva menos tiempo (y se cometen menos errores) que accionar la tecla izquierda (y viceversa si el dígito es pequeño). Esta asociación espacial facilita un lado respecto del otro (pequeño ↔ lado izquierdo, grande ↔ lado derecho). Sin embargo, no está relacionada con la lateralidad de las manos ya que también se observa cuando los participantes son zurdos e, incluso, en experimentos en que a la mano izquierda se asigna la tecla derecha y viceversa.

Otros experimentos⁽¹⁾ muestran que la lateralidad del Efecto SNARC se correlaciona con la orientación de la escritura (de izquierda a derecha, o derecha a izquierda, según el sentido usado en la lengua materna). El Efecto SNARC fue interpretado en el contexto del "Modelo del Código Triple"^(3,4) que modela la estructura anatómica y funcional empleada para el procesamiento de números. Según este modelo, basado en el análisis de imágenes y en el estudio de discapacidades por lesiones cerebrales,

regiones especificadas de ambos hemisferios cerebrales construyen una representación de la forma visual del estímulo-número y, desde allí, se accede a otra región especificada, donde se asigna el contenido semántico o analógico (i.e., la magnitud a que el estímulo hace referencia). Algunas propiedades de los números, como la paridad, estarían asociadas con la región de la representación visual. La percepción del estímulo activa la región de la percepción visual y ésta, a su vez y de manera automática, activa la región de la codificación semántica. Para activar la respuesta motora confluyen, tanto la señal de magnitud, como la de paridad. La interacción de ambas señales se manifiesta como el Efecto SNARC.

Un aspecto aún controversial del Efecto SNARC se refiere a si la información inducida por el estímulo numérico hace referencia a la magnitud o al orden del estímulo en el conjunto ordenado de estímulos usados en el experimento. Contrariamente a las conclusiones de Dehaene⁽¹⁾, otros autores⁽⁵⁾ reportan resultados experimentales en favor de que la información inducida por el estímulo hace referencia al carácter ordinal del estímulo.

Este trabajo pretende contribuir a interpretar resultados previos controversiales sobre el efecto SNARC^(1, 5) mediante el desarrollo y análisis de una serie de experimentos. Realizamos tres experimentos en forma consecutiva. En el primero de ellos, se pretendía decidir si el Efecto SNARC se manifiesta en las vocales como lo hace en el caso de los números. El segundo experimento buscaba reforzar la asociación entre el orden de las vocales y la magnitud del dígito correspondiente. El tercer experimento pretendía comprobar si el Efecto SNARC en vocales es alterado por la asociación vocal-dígito.

Los detalles del diseño experimental aparecen abajo.

II. DESCRIPCION DE LOS EXPERIMENTOS

Los tres experimentos fueron realizados por los mismos diez participantes. Todos diestros y sin dificultades de visión, con estudios universitarios en matemáticas. La contribución de uno de ellos fue excluida de los análisis porque, en uno de los experimentos, sus resultados se apartaban más de tres desviaciones estándar del promedio de los participantes.

El diseño del primero y del tercer experimento (SNARC) eran idénticos, salvo por la “experiencia” ganada por el participante durante el experimento de asociación. Estos dos experimentos constaban de varias sesiones, estadísticamente equivalentes, de una misma tarea. Cada sesión duró aproximadamente 10 min y se dividió en cuatro bloques separados por cortos intervalos de descanso.

El segundo experimento también constaba de varias sesiones de una misma tarea, pero ésta era diferente a la del primer y tercer experimentos. Cada sesión duró aproximadamente 15 min. y se dividió en dos bloques, separados por cortos intervalos de descanso.

Experimento I (SNARC): Se presentaba en el monitor un dígito (del 1 al 5) o una vocal. A cada participante se le pidió que decidiera “lo más rápidamente

posible y sin cometer errores” si en el monitor aparecía un dígito o una vocal. Con esta consigna, se midió el tiempo de respuesta. Si la respuesta era “dígito” o “vocal” se debía apretar la tecla “shift” derecha o izquierda, respectivamente. En una segunda etapa, se invirtió la asignación de teclas para las respuestas por vocal o dígito.

Los estímulos se presentaron en el monitor en letra negra de 1,6cm de altura y 1,5 de ancho, sobre una ventana gris.

El tiempo de barrido del monitor era de 11,71 ms (1 tic). Después de la aparición de un símbolo “+”, durante 150ms, la ventana de presentación de estímulos quedaba en blanco durante 22 tics. A continuación, se presentaba el estímulo durante 40 tics. El TR se contaba a partir del momento en que aparecía el estímulo en el monitor hasta que se apretaba la tecla correspondiente.

Cada uno de los nueve participantes realizó 4 sesiones para cada una de las dos consignas. En resumen, cada participante respondió 128 veces a cada estímulo (4 sesiones x 4 bloques x 4 veces cada estímulo por bloque x 2 (consignas) = 128).

En este experimento, cada sesión iniciaba con 40 “tiros” de prueba que se descartaron por lo que no están contabilizados arriba.

Experimento II (Asociación vocal-dígito): En este experimento se asociaba el orden de la vocal con la magnitud del dígito. Cada combinación de dígito y vocal era un estímulo y se debía decidir si eran iguales o diferentes. Cada participante realizó siete sesiones con cada consigna de lateralidad de respuesta. Este experimento se iniciaba con un signo “+” durante 750 ms. Después, seguía una pantalla en blanco durante 22 tics y, a continuación, se presentaba simultáneamente un dígito (1 al 5) y una vocal hasta que el participante respondía (con un máximo de 6,5 s). Se debía determinar si eran iguales o distintos (identificando “a = 1”, “e = 2”, ...). Las vocales y dígitos tenían las mismas dimensiones que en el experimento I y la única diferencia geométrica era que ambos aparecían uno a la par del otro. El experimento tenía, como en el experimento I, dos etapas para invertir la lateralidad de las respuestas.

Durante cada bloque, se le presentaban al participante todos los posibles pares de dígitos y vocales, 16 veces para el estímulo vocal-dígito “igual” y 16 veces para “diferente”, en forma aleatoria. Por ejemplo, en cada bloque el estímulo “1 a” (o el “a 1”) apareció 16 veces (8 veces con el dígito a la izquierda y 8 con el dígito a la derecha) mientras que el “1 e”, “1 i”, “1 o”, “1 u” 16 veces entre todos.

En resumen, cada uno de los nueve participantes respondió 648 veces a cada combinación de vocal y dígito (7 sesiones x 2 bloques x 16 veces cada estímulo por bloque x 2 consignas de lateralidad).

Este experimento no se iniciaba con tiros de prueba.

Experimento III (SNARC pos-asociación): Se repitió el experimento I para comprobar si el Efecto SNARC en vocales es alterado por la asociación vocal-dígito del Experimento II.

El todos los casos el TR se midió por soft con el programa para diseño de experimentos de distribución libre “DMDX” que asegura una resolución temporal de

1 ms⁽⁶⁾.

III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la Figura 1 se muestran los resultados del experimento I. En 1-a aparece el TR para decidir si el estímulo fue un dígito o una vocal, en función del dígito o de la vocal correspondiente. Los TR para dígitos y para vocales aparecen en curvas separadas. En el eje de las abscisas, para el caso de las vocales la “a” aparece como un “1”, la “e” como un “2”, etc., en todos los gráficos en que éstas cumplen el rol de la variable independiente. Las curvas de la fig. 1-a están separadas para respuestas con la mano derecha y con la izquierda. Las respuestas por los dígitos aparecen con un círculo lleno y por las vocales con una circunferencia vacía. Por otro lado, cuando se debía contestar ante la consigna “vocal con la mano derecha y dígito con la mano izquierda”, los puntos aparecen unidos por una línea continua, mientras que si la consigna era “vocal con la mano izquierda y dígito con la mano derecha”, los puntos aparecen unidos por una línea de rayas. Para promediar mediciones de diferentes participantes, en cada caso se restó el tiempo medio global de cada participante.

Resulta notoria la diferencia en los TR de los dígitos y de las vocales. Es más veloz la respuesta relativa derecha si los dígitos son mayores y es más veloz la respuesta relativa izquierda si las vocales son menores.

La Figura 1-b ayuda a visualizar el efecto SNARC; muestra la diferencia de TR con la mano derecha y la izquierda, para cada estímulo:

$$\Delta TR = TR(\text{mano derecha}) - TR(\text{mano izquierda}).$$

En la expresión anterior, TR representa los tiempos medios, promediados sobre todos los participantes. Los datos experimentales aparecen con círculos (llenos o vacíos según el caso). Ajustamos los datos obtenidos por medio de rectas, como es usual en la literatura^(1, 2, 5). Por otro lado, analizamos si el efecto SNARC es significativo haciendo un estudio comparativo de los participantes⁽⁷⁾: a) calculamos la pendiente SNARC de cada participante por separado, b) realizamos la prueba t-student sobre las pendientes para evaluar si diferían, en media, significativamente de cero. La prueba de hipótesis asociada con los datos reportados en la figura 1-b resultó significativa en ambos casos. Para las vocales, $t(8) = -2,1$ con $p = 0,03$ y, para los dígitos, $t(8) = -3,66$ con $p < 0,003$.

Las rectas de regresión para los ΔTR de la figura dan pendientes de $-3,8$ y -3 ms/estímulo para dígitos y vocales, respectivamente. El coeficiente de correlación está indicado en la figura en cada caso. Este análisis muestra que la respuesta con la mano derecha se facilita con respecto a la respuesta con la mano izquierda para “magnitudes” grandes o pequeñas, respectivamente. Este “gradiente” espacial de facilitación de la velocidad de respuesta cuantifica la asimetría del efecto SNARC.

Este efecto, dependiente de la “magnitud” del estímulo, es conocido para los dígitos pero controversial para las vocales^(1, 5). Nuestros resultados muestran que, si bien ambos tipos de estímulo presentan un efecto SNARC significativo, éste es más notable en los dígitos que en las vocales.

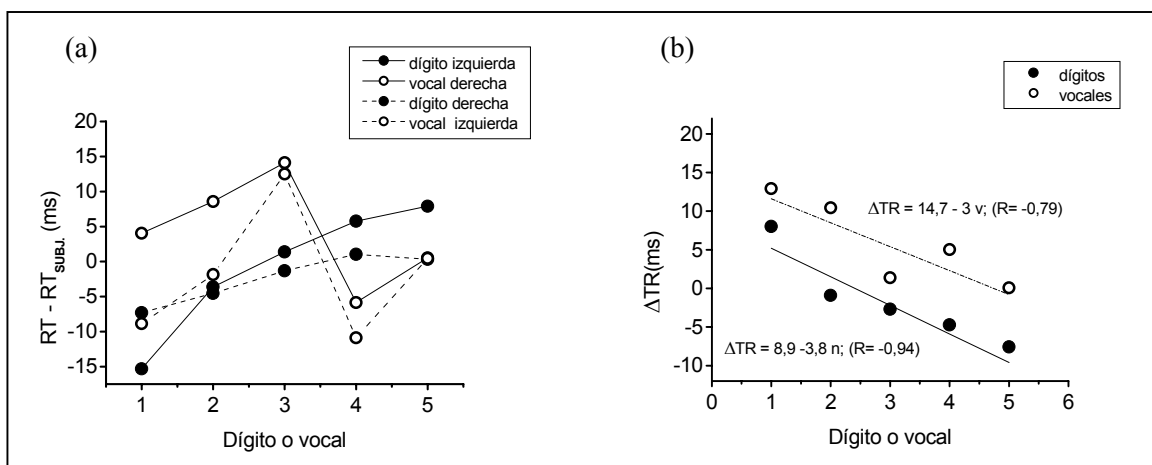


Figura 1: Dependencia con el dígito (o la vocal) (a)El TR promedio entre personas y(b)El SNARC del TR antes de la asociación vocal-dígito.

En la Figura 2 se muestran los resultados del Experimento II. En 2-a se muestra el efecto SNARC para los TR para las respuestas “igual”. En la Fig. 2-b se muestra el efecto SNARC para el porcentaje de errores.

En los dos casos se muestra, junto a los datos experimentales, la recta de regresión cuyas pendientes valen $-10,6$ ms/estímulo (con $t(8)=-5,6$ con $p=0$) y $-1,4$ /estímulo, ($t(8)=-1,93$, $p=0,04$), para el ΔTR y el porcentaje de respuestas equivocadas, respectivamente.

Notar que el efecto es más pronunciado en el experimento II (ver fig. 2-a) que el obtenido en el experimento I (ver fig. 1-b).

Se analizó, también, el efecto SNARC del TR en función del dígito (promediado sobre las vocales) para las respuestas “diferentes”. La recta de regresión tiene una pendiente $=-3,4$ ms/estímulo con $R=-0,83$. En este caso la prueba de hipótesis dio $t(8)=-0,33$ con $p=0,3$ (no significativo). A pesar que la tendencia observada con la recta de regresión lineal sobre ΔTR insinúa un efecto SNARC, los resultados de la t-student no permiten confirmar este efecto, por lo que omitimos el gráfico correspondiente. El efecto SNARC del TR en

función de las vocales (promediado sobre los dígitos) para las respuestas “diferentes” es, aún, más pronunciado. La prueba de hipótesis arroja $t(8)=0,28$ (positivo) con $p=0,39$ (no significativo), por lo que se descartó tal efecto (la pendiente de la recta de regresión también resulta positiva).

En la figura 2-c se muestran los TR, separados por consigna, en función de la “Distancia” entre la vocal y el dígito (Distancia = vocal - dígito). Se observa que los tiempos para la consigna en la que se responde igual con la mano derecha son, sistemáticamente, menores por unos 18 ms que aquellos en los que se responde igual con la mano izquierda (preconcepto semántico). También es notorio (2-c) que el TR para elegir igual es significativamente menor que el usado para elegir diferente (reconocimiento de igualdad). Por último se nota una marcada dependencia del TR con la distancia entre la vocal y el dígito (efecto distancia vocal-dígito), en la tarea determinar distintos, a pesar que la consigna (igual o diferente) no apela directamente a la evaluación de la magnitud.

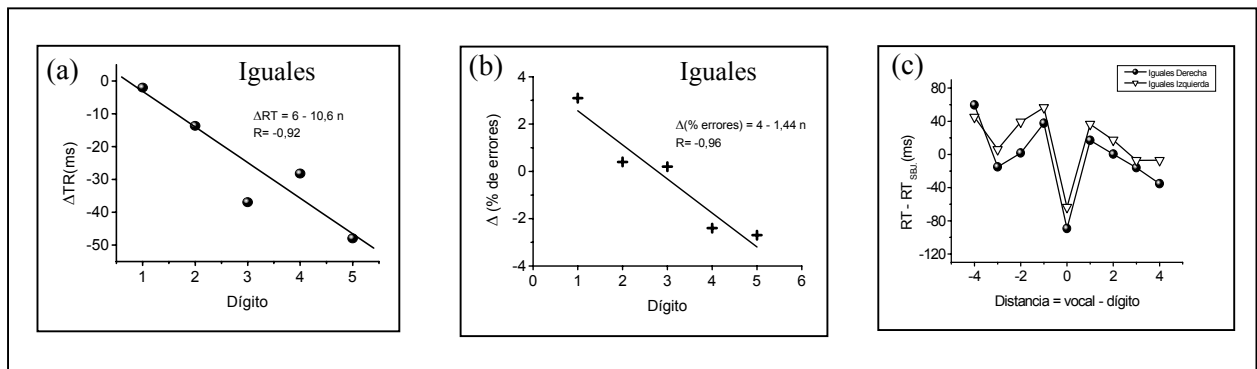


Figura 2: Efecto SNARC del experimento de asociación vocal-dígito para (a) Igualdad entre vocal y dígito, (b) Los porcentajes de errores, (c) Desigualdad entre vocal y dígito, en función del dígito y promediado sobre las diferentes vocales y (d) Tiempos de Respuesta en función de la distancia entre la vocal y el dígito para cada una de las consignas de lateralidad, referidos al tiempo medio general de las personas .

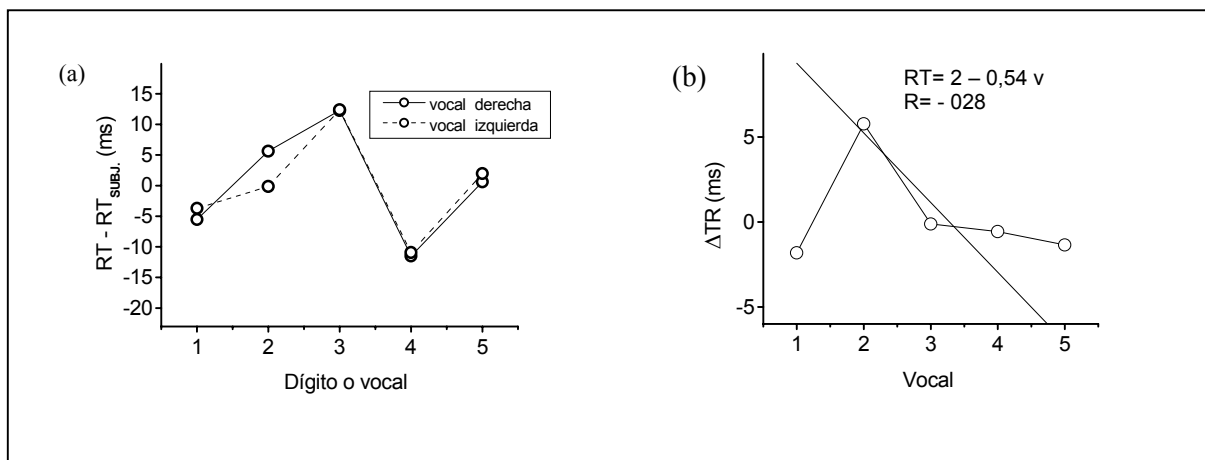


Figura 3: Dependencia con la vocal (a) El TR promedio entre personas y (b) El SNARC del TR después de la asociación vocal-dígito.

En la Figura 3 se muestran los resultados del Experimento III. En 3-a se muestra el TR usado para

decidir si el estímulo fue un dígito o una vocal, en curvas separadas para respuestas con la mano derecha y

con la izquierda y para los estímulos vocales. La convención de símbolos es la misma a la usada en la fig. 1-a. Cualitativamente, cada curva se asemeja a la correspondiente de la figura 1-a (antes de la asociación vocal-dígito). La figura 3-b muestra el efecto SNARC para las vocales después de la asociación.

Se observa que éste empeora significativamente. En este caso, la pendiente del ajuste vale $-0,54$ ms/estímulo. La prueba de hipótesis arroja $t(8)=-0,46$ con $p=0,33$ (no significativo).

DISCUSIÓN

El Efecto SNARC es conocido para dígitos y muestra que, en tareas de selección en las que la magnitud no es información relevante, los TR son menores para los dígitos pequeños si la respuesta es con la tecla izquierda y viceversa para los dígitos grandes y tecla derecha. El mismo efecto es actualmente controversial en la literatura en el caso de las letras, donde el efecto no siempre es significativo. Esta diferencia entre dígitos y letras es atribuido, típicamente, a que los números son magnitudes cardinales, mientras que las letras son ordinales. Aquí quisimos testear esta hipótesis mediante un experimento que refuerza la asociación entre cardinalidad del dígito y la ordinalidad de la vocal. Se quería observar la modificación del Efecto SNARC en vocales, tras el experimento de “cardinalización” de las vocales.

Los resultados no muestran ningún incremento del Efecto SNARC de las vocales por la influencia de la “asociación” vocal-dígito (comparar figura 1-b y 3-b).

Por otra parte vemos que, tanto en la figura 1-a como en la 3-a, los tiempos de respuesta ante dígitos son crecientes con la magnitud de los mismos y no ocurre lo mismo con las vocales, ni antes ni después de la asociación vocal-dígito. Esta tendencia del TR (creciente con la magnitud) sugiere un proceso de codificación interna de los números y no un proceso de llamada a memoria de cada dígito. Sin embargo, para las vocales no parece existir una codificación equivalente a la llamada “recta numérica interna” (modelizada por los autores en publicaciones previas^(8, 9, 10, 11, 12, 13)). Esto refuerza la hipótesis de que los estímulos que no pueden ser representados por un “cardinal” no presentarán Efecto SNARC; sin embargo, el “deterioro” de dicho efecto, tras la “asociación” vocal-dígito, puede indicar que el modo de “cardinalizar” las vocales no fue correcto. Otra opción que implementaremos es la asociación de las vocales

con magnitudes físicas como por ejemplo el largo de segmentos o superficies de rectángulos presentados en un monitor. De este modo la asociación no se haría con un símbolo que representa una magnitud sino con un objeto sensorial que posee una magnitud.

Por otra parte, aunque no era esperado, se observaron resultados interesantes en el experimento para forzar la asociación (ver figura 2). En este experimento se observa el efecto SNARC cuando se elige “igual”. Se manifiesta como una función decreciente con la magnitud del dígito (ver fig. 2-a). El mismo efecto se manifiesta en el porcentaje de errores cuando se elige “igual” (ver fig. 2-b). El Efecto SNARC no es nuevo para dígitos, pero es importante notar que la magnitud del efecto, en este experimento, es mucho mayor que en el experimento de distinguir vocal o dígito (comparar fig. 1-b y 2-a).

En el experimento 2, encontramos, también, que ante la selección por igual se responde más rápido que ante la selección por distinto, en ambas consignas de lateralidad. Esto sugiere un mecanismo para juzgar igualdad y otro mecanismo para juzgar por diferente. Por otro lado, la figura 2-c muestra que cuando la tarea se juzga con ambas consignas, una de las dos alternativas es sistemáticamente más rápida que la otra. Hemos observado que este resultado, y otros similares en que las alternativas se responden a diferente velocidad, presentan, también, Efecto SNARC⁽¹⁾.

Por último, el tiempo usado para juzgar diferente depende de la distancia entre el dígito y la vocal. Esta dependencia decreciente con la distancia^(14, 15) es común en mecanismos de acumulación estudiados anteriormente por los autores^(8, 9, 10, 11, 12, 13) en los que los TR resultaron logarítmicos con la distancia entre los estímulos. Un patrón similar parece estar presente en este experimento.

En trabajos previos hemos desarrollado un modelo de acumulación de evidencia llamado modelo recursivo, que describe correctamente el tiempo de respuesta en experimentos de comparación de estímulos simbólicos. Si se aplica el modelo recursivo para simular los TR de selección en el experimento II (ver fig 2-c), se logra un ajuste con las mediciones con un valor de correlación $R=0.83$. En una siguiente etapa nos proponemos extender el modelo recursivo para incluir los efectos asimétricos de la lateralidad, responsables del Efecto SNARC.

Referencias

- 1- S. Dehaene, S. Bossini, and P. Giraux. *Journal of Experimental Psychology: General*, **122**, 371--396, 1993.
- 2- Lammertyn, J., Fias, W. and Lauwereyns, J. Selected Abstracts From the 20th European Workshop on Cognitive Neuropsychology (Bressanone 2002).
- 3- Stanislas Dehaene. *Cognition*, 44:1--42, 1992.
- 4- Dehaene, S. and Cohen, L.. *Mathematical Cognition* 1 (1995).

- 5- Gevers, W., Reynvoet, & Fias, W. *Cognition*. **87** (3), B87-B95 (2003).
- 6- *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*. **31** (2), 322-328(1999).
- 7- Fias, W., Brysbaert, M., Geypens, F. and d'Ydewalle, G. *MAthematical cognition*. **2** (1), 95-110, 1996.
- 8- J. Codnia, A. Sartarelli, A. Saal, E. Izquierdo, C. El Hasi, R. Page. *Anales AFA* (2000).
- 9- E. Izquierdo, R. Page, J. Codnia y A. Saal. *Anales AFA* (2002).

- 10- E. Izquierdo, A. Saal, J. Codnia, R. Page. Internacional Symposium Modeling Complex Biophysical Processes, Uruguay. Ponencia invitada y Anales (2002).
- 11- R. Page, E. Izquierdo, A. Saal y J. Codnia, C. El Hasi. Anales AFA (2001).
- 12- R. Page, E. Izquierdo, A. Saal y J. Codnia, C. El Hasi, A Sartarelli. 8va. Reunion de la Asociación Argentina de Ciencias del Comportamiento (AACC), Poster (2001).
- 13- R. Page, E. Izquierdo, A. Saal, J. Codnia and C. El Hasi. Perception & Psychophysics, **66(2)**, 196-207 (2004).
- 14- R. Moyer y T. K. Landauer. Nature, **215**, 1519-1520 (1967).
- 15- Welford, A. T. Ergonomics, **3**, 189-230 (1960).